

# Populações & Metapopulações

Marco A. R. Mello







*Tadarida brasiliensis*















# Objetivo da aula

- Apresentar diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie e o que se sabe sobre sua estrutura e dinâmica



# Escopo da aula



# Escopo da aula

- Uma breve introdução às populações e metapopulações



# Escopo da aula

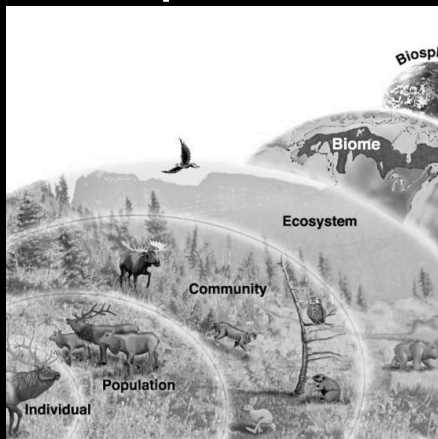
- Uma breve introdução às populações e metapopulações
- Não dá para falar sobre tudo, mas dá para passar uma boa noção geral do assunto



# Escopo da aula

- Uma breve introdução às populações e metapopulações
- Não dá para falar sobre tudo, mas dá para passar uma boa noção geral do assunto
- Aulas mais aprofundadas serão dadas depois, em Ecologia I

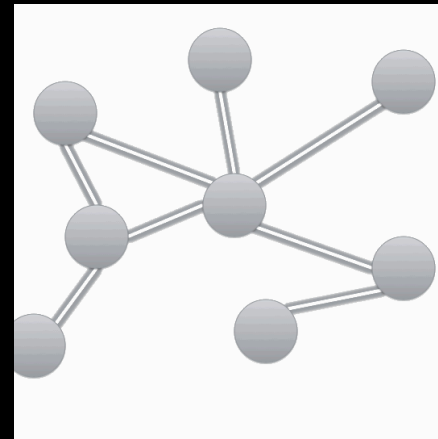
## Complexidade



## Histórico



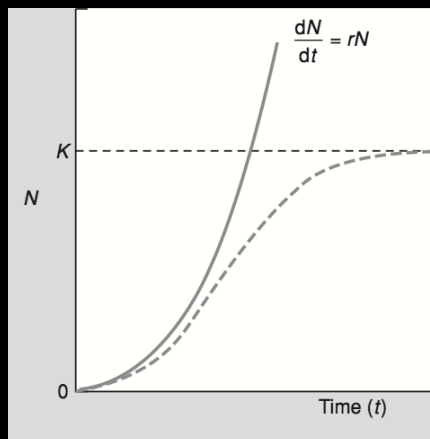
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica

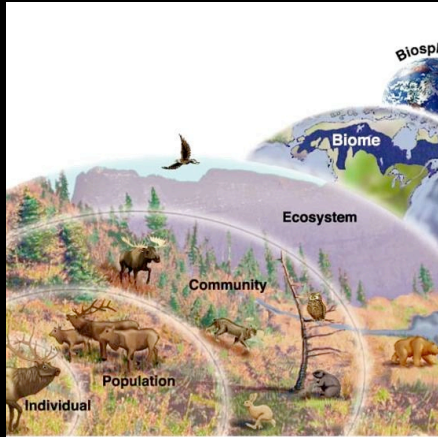


## Aplicações





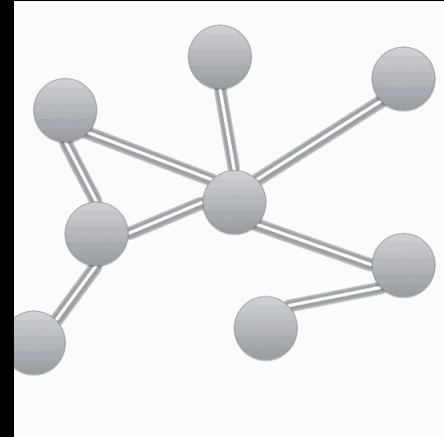
## Complexidade



## Histórico



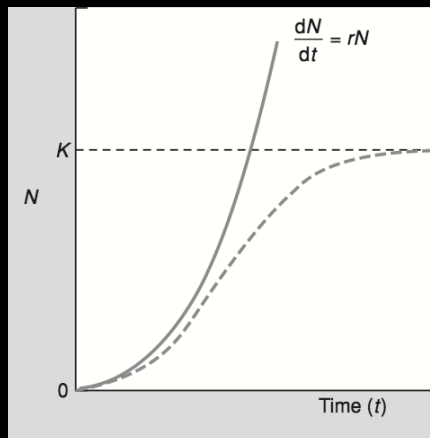
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica



## Aplicações

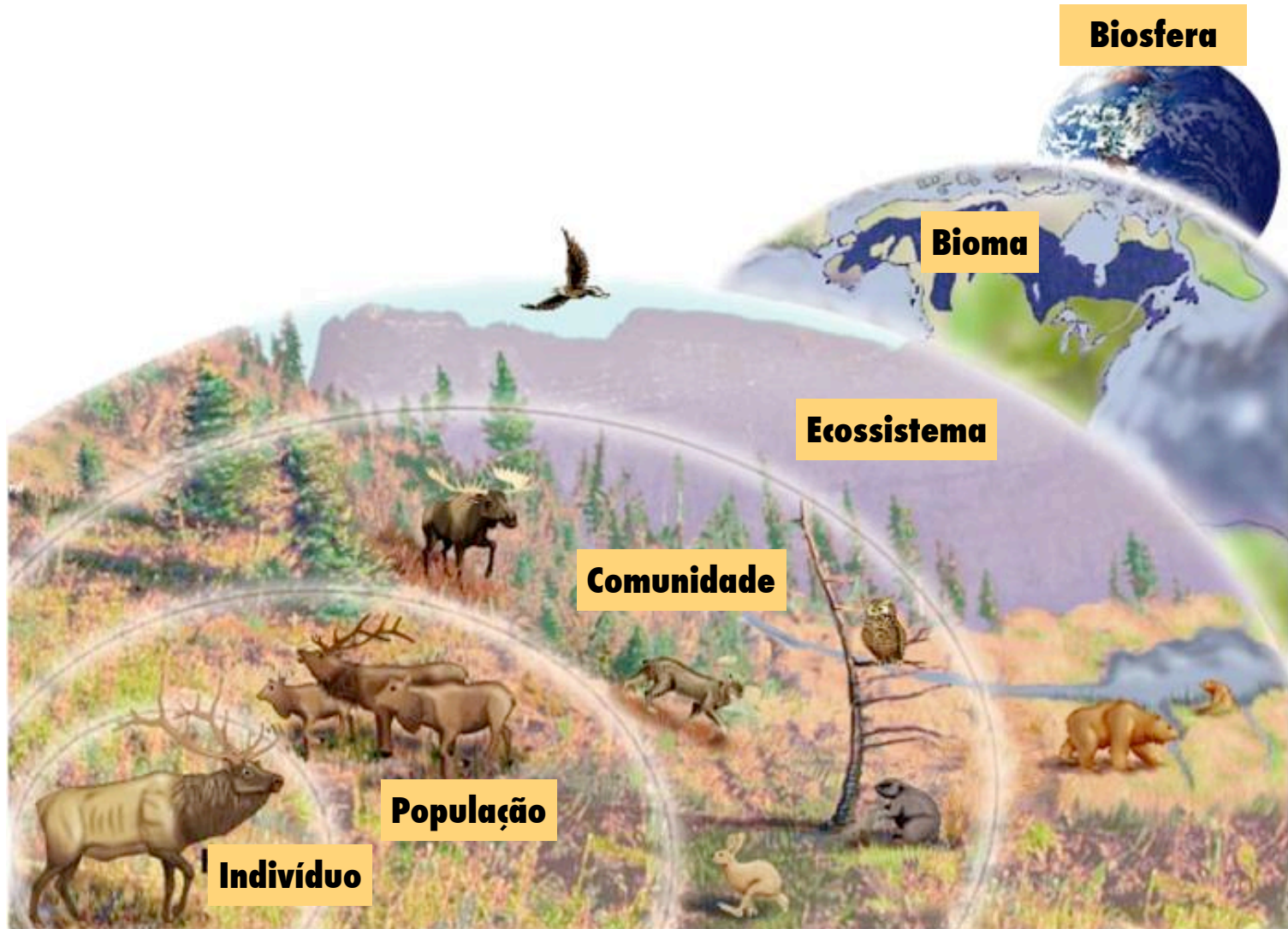


# Escalas espaciais ecológicas





# Níveis de organização ecológicos



# Complexidade



**Grafite**



## Grafite



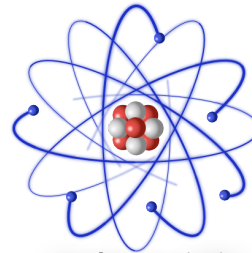
- ✓ Macio
- ✓ Opaco
- ✓ Alta condutividade



## Grafite



- ✓ Macio
- ✓ Opaco
- ✓ Alta condutividade



Carbono (C)

## Diamante

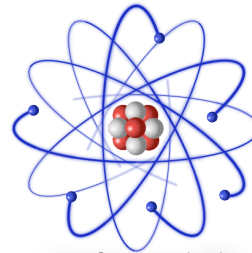
- ✓ Duro
- ✓ Transparente
- ✓ Baixa condutividade



**X**

## Grafite

- ✓ Macio
- ✓ Opaco
- ✓ Alta condutividade



Carbono (C)

## Diamante

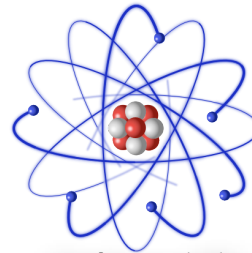
- ✓ Duro
- ✓ Transparente
- ✓ Baixa condutividade



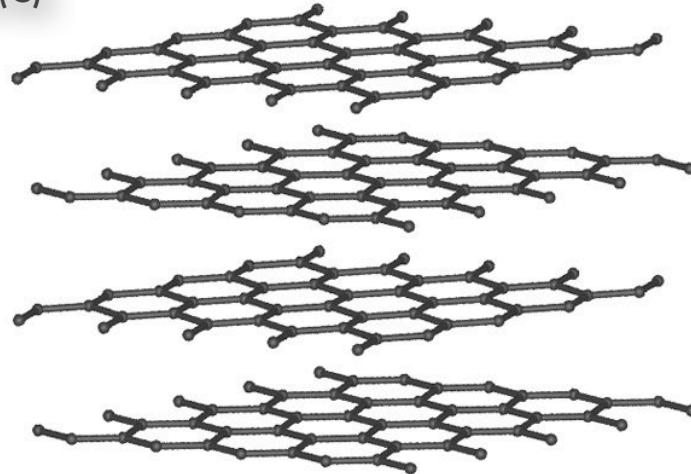
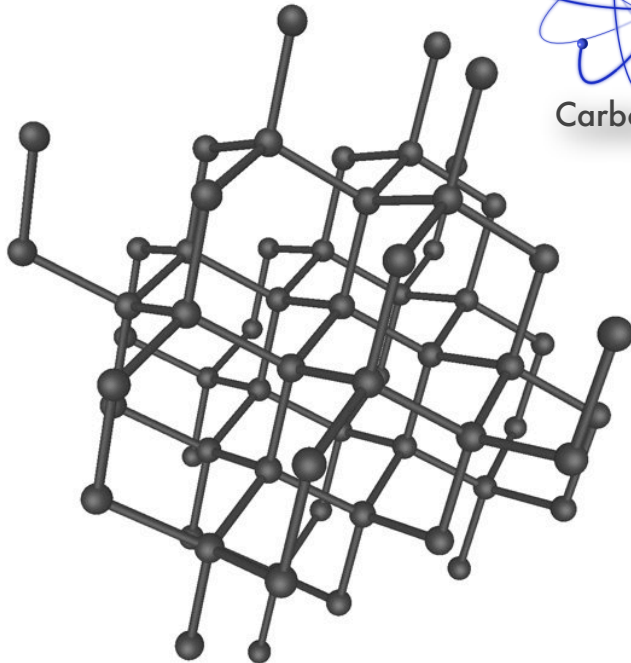
X

## Grafite

- ✓ Macio
- ✓ Opaco
- ✓ Alta condutividade



Carbono (C)





**Diamante**



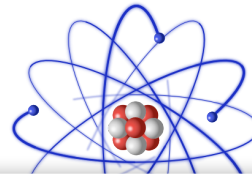
- ✓ Duro
- ✓ Transparente
- ✓ Baixa condutividade

**X**

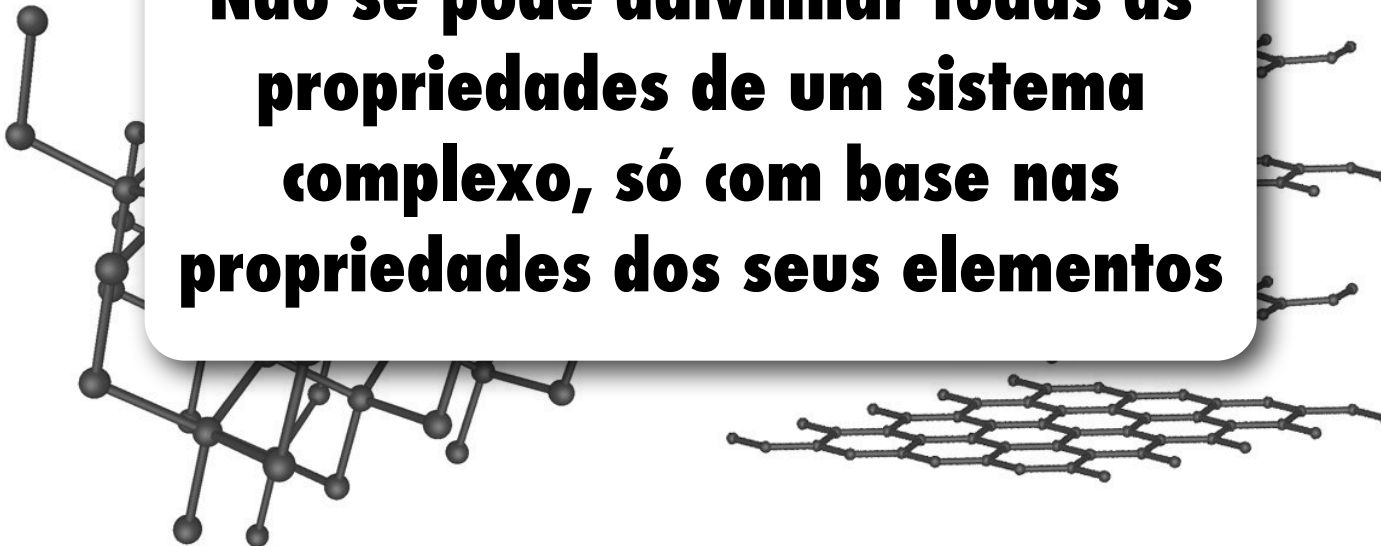
**Grafite**



- ✓ Macio
- ✓ Opaco
- ✓ Alta condutividade



**Não se pode adivinhar todas as propriedades de um sistema complexo, só com base nas propriedades dos seus elementos**



# Sistemas de organismos da mesma espécie

# Sistemas de organismos da mesma espécie

- **Elemento:** indivíduo



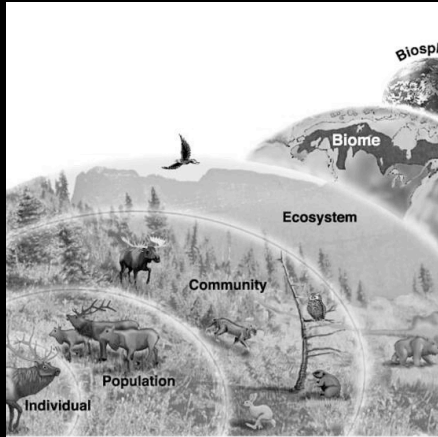
# Sistemas de organismos da mesma espécie

- **Elemento:** indivíduo
- **Sistema:** conjunto de indivíduos que interagem

# Sistemas de organismos da mesma espécie

- **Elemento:** indivíduo
- **Sistema:** conjunto de indivíduos que interagem
- Como no caso dos alótropos de carbono

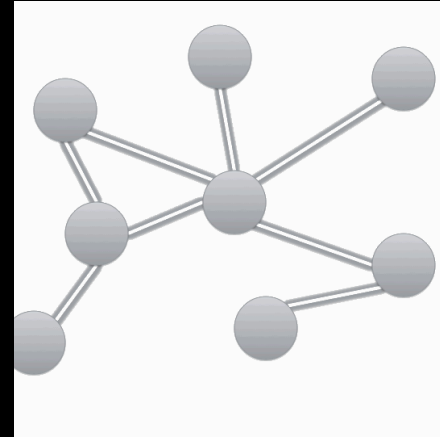
## Complexidade



## Histórico



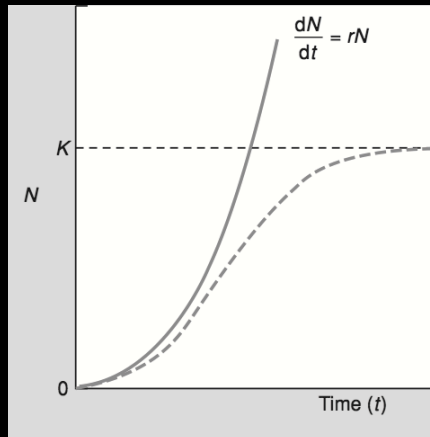
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica



## Aplicações





Quantos animais e plantas há  
em um dado local?



# Pessoas e alimentos



# Thomas Malthus

“Um ensaio sobre o princípio da população” (1798)





# Thomas Malthus

“Um ensaio sobre o princípio da população” (1798)

- A população humana cresce exponencialmente



# Thomas Malthus

“Um ensaio sobre o princípio da população” (1798)

- A população humana cresce exponencialmente
- A produção de alimentos cresce linearmente



# Thomas Malthus

“Um ensaio sobre o princípio da população” (1798)

- A população humana cresce exponencialmente
- A produção de alimentos cresce linearmente
- Resultado: miséria e fome



# Thomas Malthus

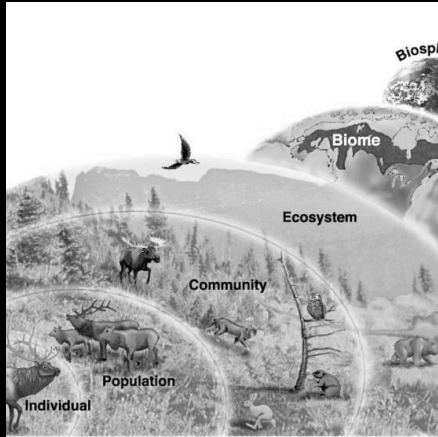
“Um ensaio sobre o princípio da população” (1798)

- A população humana cresce exponencialmente
- A produção de alimentos cresce linearmente
- Resultado: miséria e fome
- A Revolução Verde nos salvou depois, entre os anos 1940 e 1970





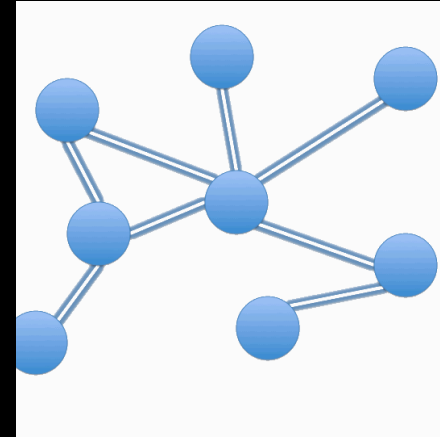
## Complexidade



## Histórico



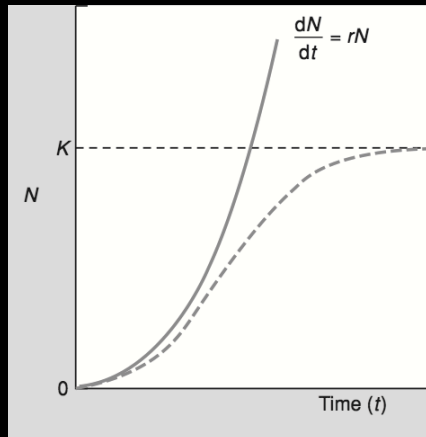
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica



## Aplicações



# Sistemas de organismos conspecíficos





# População

- Conjunto de organismos de uma mesma espécie que cruzam entre si e habitam um mesmo local ao mesmo tempo



# Limites:

Onde a população começa e termina?



## **Limites físicos reais:**

barreiras para sobrevivência ou  
dispersão



# Limites:

Onde a população começa e termina?



**Limites físicos reais:**  
barreiras para sobrevivência ou  
dispersão



**Limites físicos arbitrários:**  
definidos de acordo com a  
pergunta de trabalho ou as  
limitações amostrais

# Problema

# Problema

- A grande maioria dos estudos parte da premissa de que as populações são fechadas, pelo menos durante o período de estudo

# Problema

- A grande maioria dos estudos parte da premissa de que as populações são fechadas, pelo menos durante o período de estudo
- Será que populações naturais são assim mesmo?









**E se alguns indivíduos se moverem entre populações?**



# Metapopulação



Exemplo: marsupiais que vivem em florestas (*Micooureus paraguayanus*)



# ReBio Poço das Antas

Silva Jardim, RJ





# Paisagem heterogênea:

Ilhas naturais de Mata Atlântica





# Populações locais e metapopulação

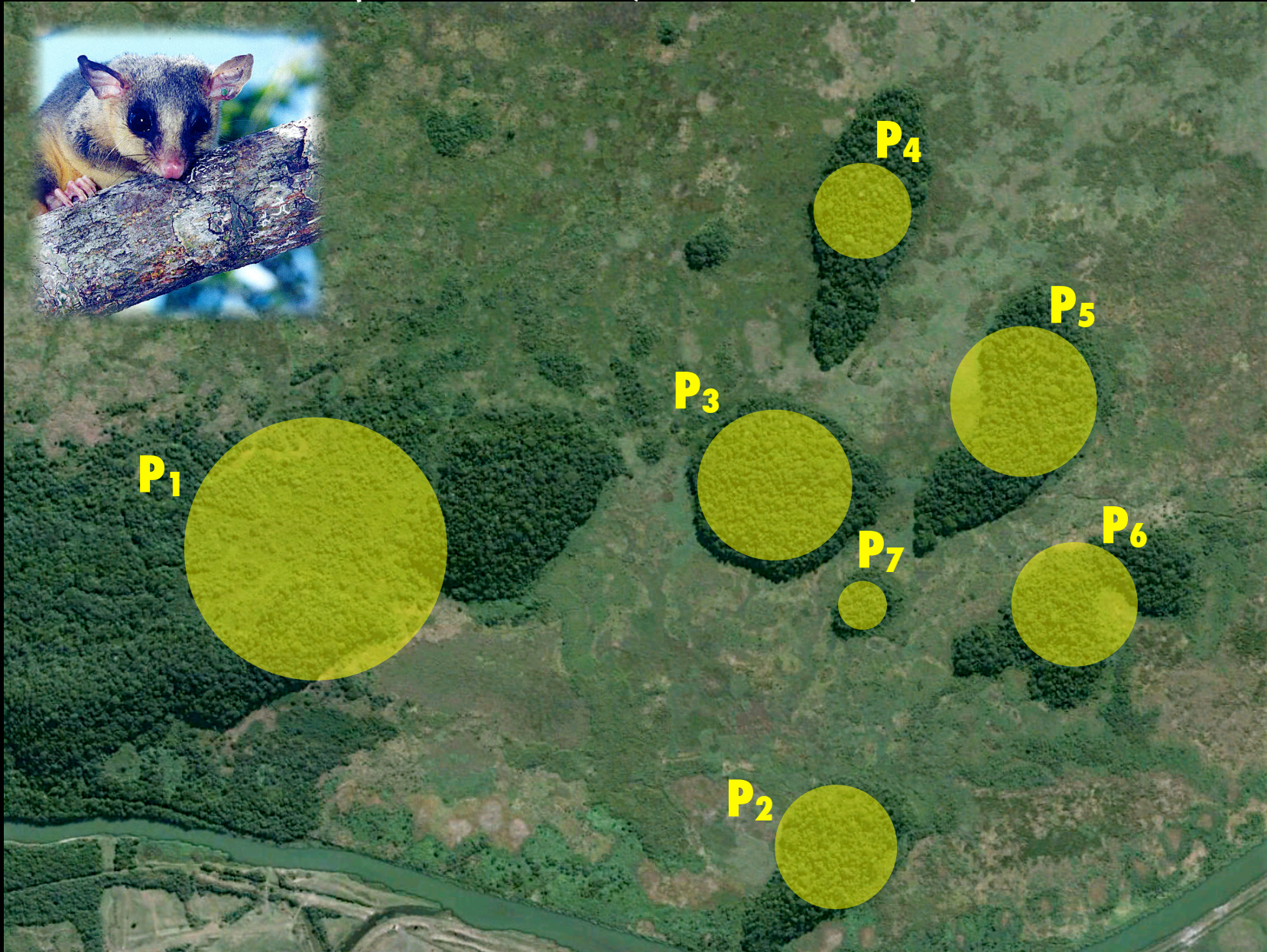
(Pires et al. 2002, Lira et al. 2007)





# Populações locais e metapopulação

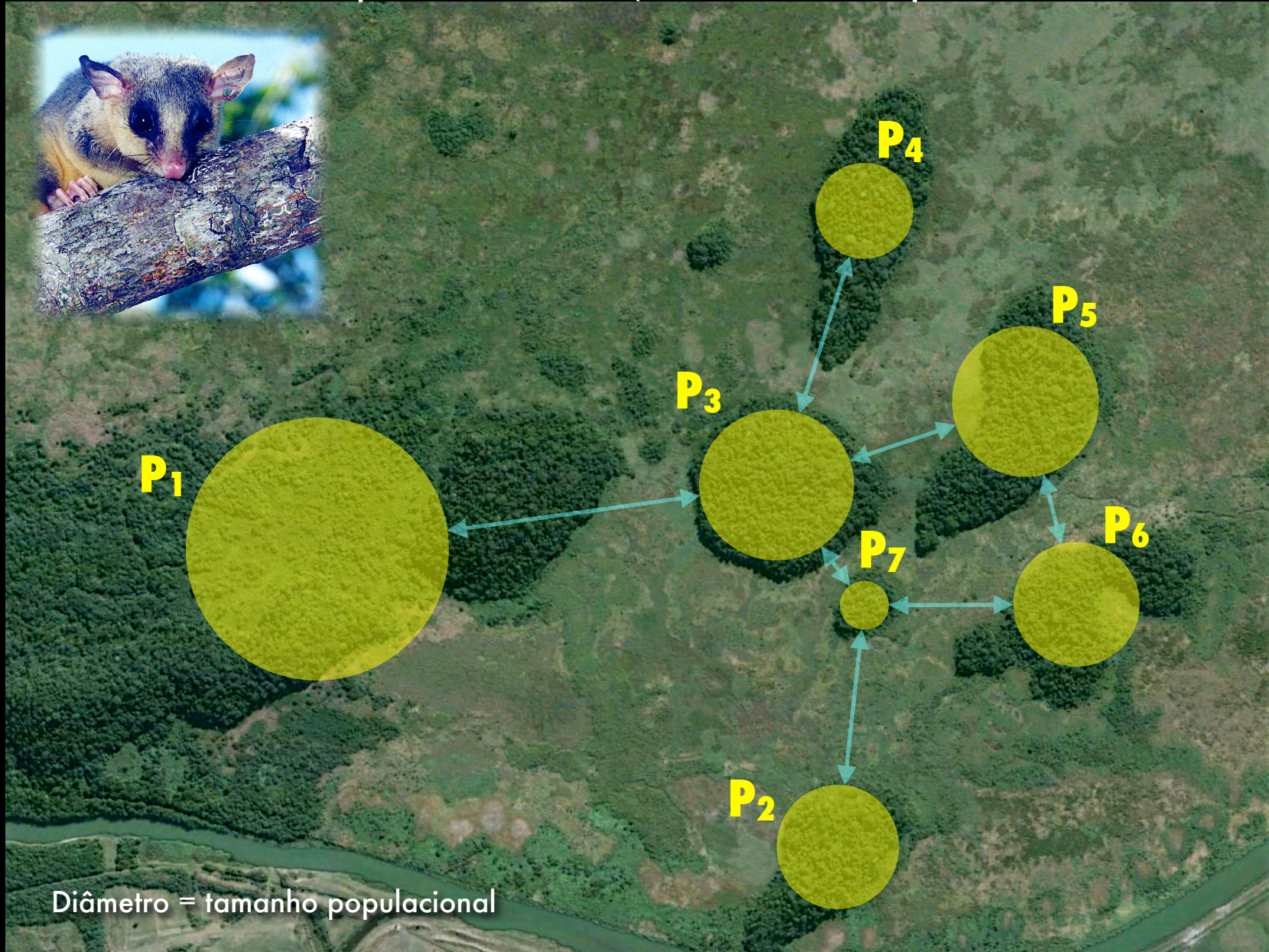
(Pires et al. 2002, Lira et al. 2007)





# Populações locais e metapopulação

(Pires et al. 2002, Lira et al. 2007)



# Metapopulação

# Metapopulação

- “Uma população de populações”

# Metapopulação

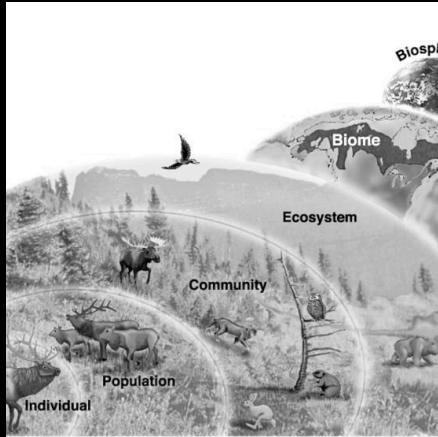
- “Uma população de populações”
- Conceito: Um conjunto de populações locais conectadas por dispersão de indivíduos (Levins 1969)



# Metapopulação

- “Uma população de populações”
- Conceito: Um conjunto de populações locais conectadas por dispersão de indivíduos (Levins 1969)
- Hábitat distribuído em manchas: uma população em cada mancha (e.g., fragmentos de mata)

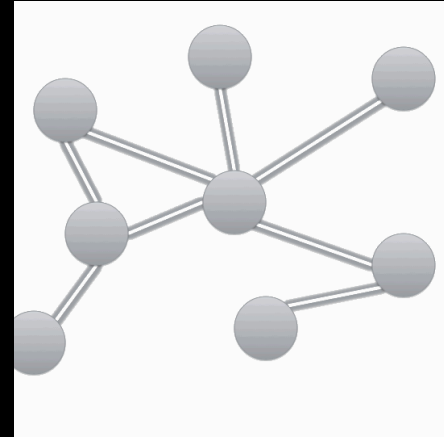
## Complexidade



## Histórico



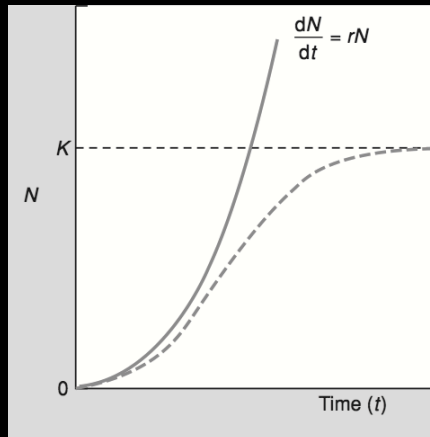
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica



## Aplicações



# Estrutura:

propriedades emergentes





# População

# Propriedades da população

# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos



# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos
- Capacidade suporte

# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos
- Capacidade suporte
- Taxas de natalidade e mortalidade

# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos
- Capacidade suporte
- Taxas de natalidade e mortalidade
- Taxas de emigração e imigração



# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos
- Capacidade suporte
- Taxas de natalidade e mortalidade
- Taxas de emigração e imigração
- Estrutura etária

# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos
- Capacidade suporte
- Taxas de natalidade e mortalidade
- Taxas de emigração e imigração
- Estrutura etária
- Distribuição espacial

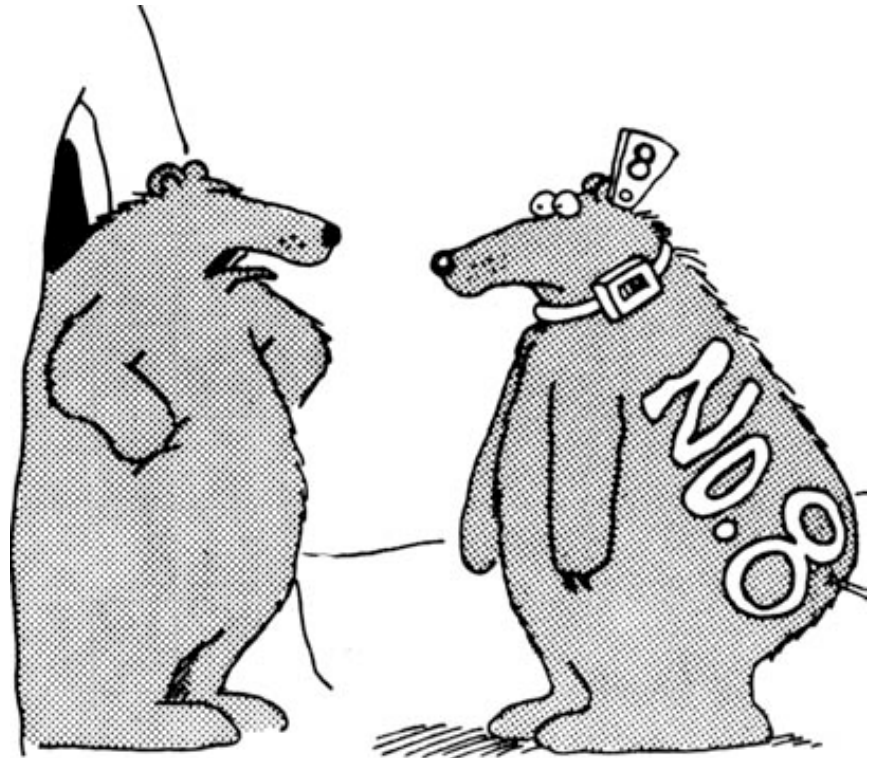
# Propriedades da população

- Tamanho = número de indivíduos
- Capacidade suporte
- Taxas de natalidade e mortalidade
- Taxas de emigração e imigração
- Estrutura etária
- Distribuição espacial
- Viabilidade



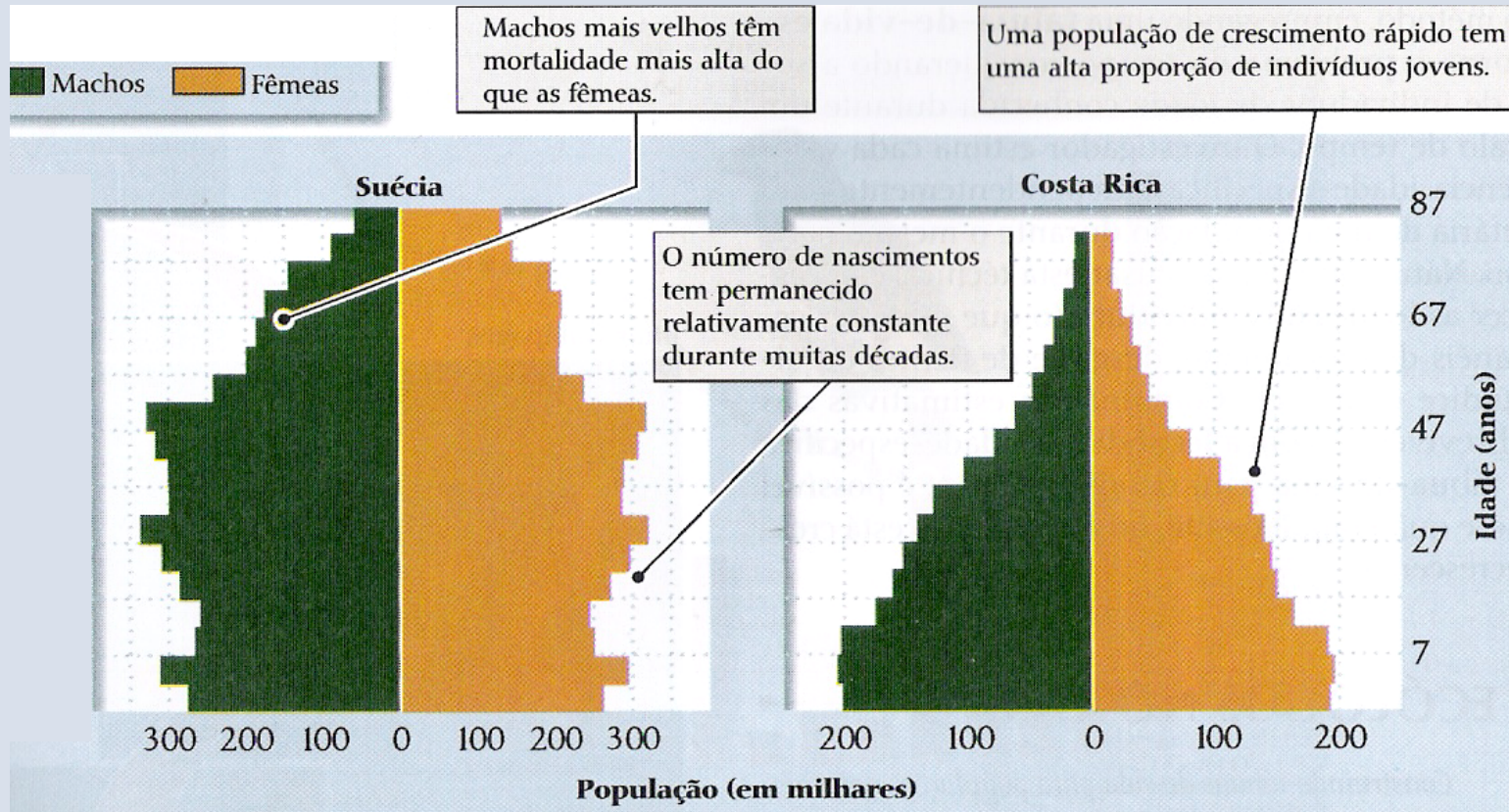
# Estimativa do tamanho populacional

- Número de indivíduos em uma área
- Populações fechadas ou abertas
- Censo
- Marcação e recaptura
- Estimativas estatísticas



Posso saber onde o Sr. estava até essa hora?

# Estrutura etária



# Metapopulação



# Propriedades da metapopulação

# Propriedades da metapopulação

- Tamanho = número de populações locais

# Propriedades da metapopulação

- Tamanho = número de populações locais
- Taxas locais de migração

# Propriedades da metapopulação

- Tamanho = número de populações locais
- Taxas locais de migração
- Probabilidade de colonização de populações locais



# Propriedades da metapopulação

- Tamanho = número de populações locais
- Taxas locais de migração
- Probabilidade de colonização de populações locais
- Probabilidade de extinção de populações locais

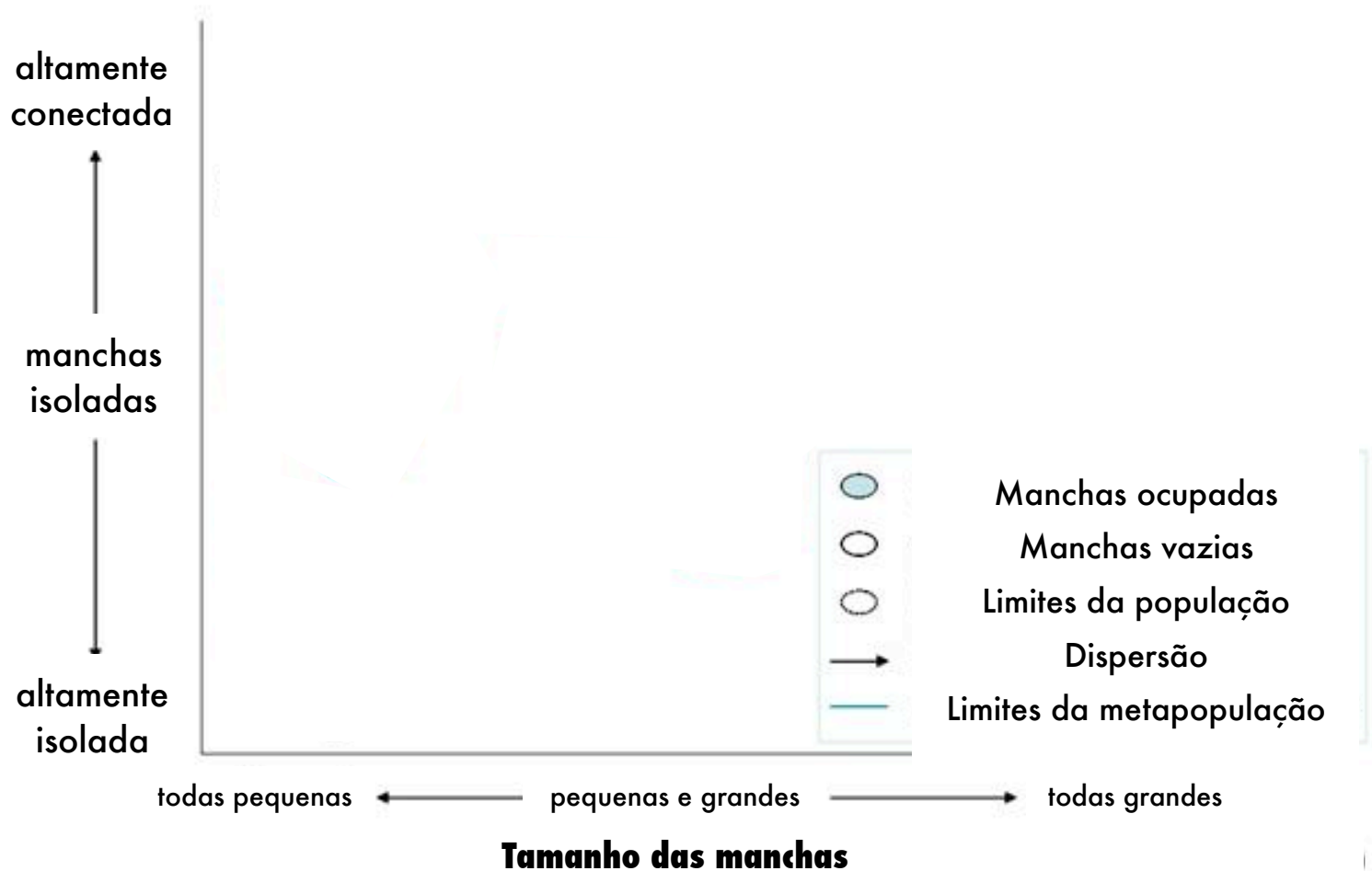
# Propriedades da metapopulação

- Tamanho = número de populações locais
- Taxas locais de migração
- Probabilidade de colonização de populações locais
- Probabilidade de extinção de populações locais
- Arranjo espacial

# Propriedades da metapopulação

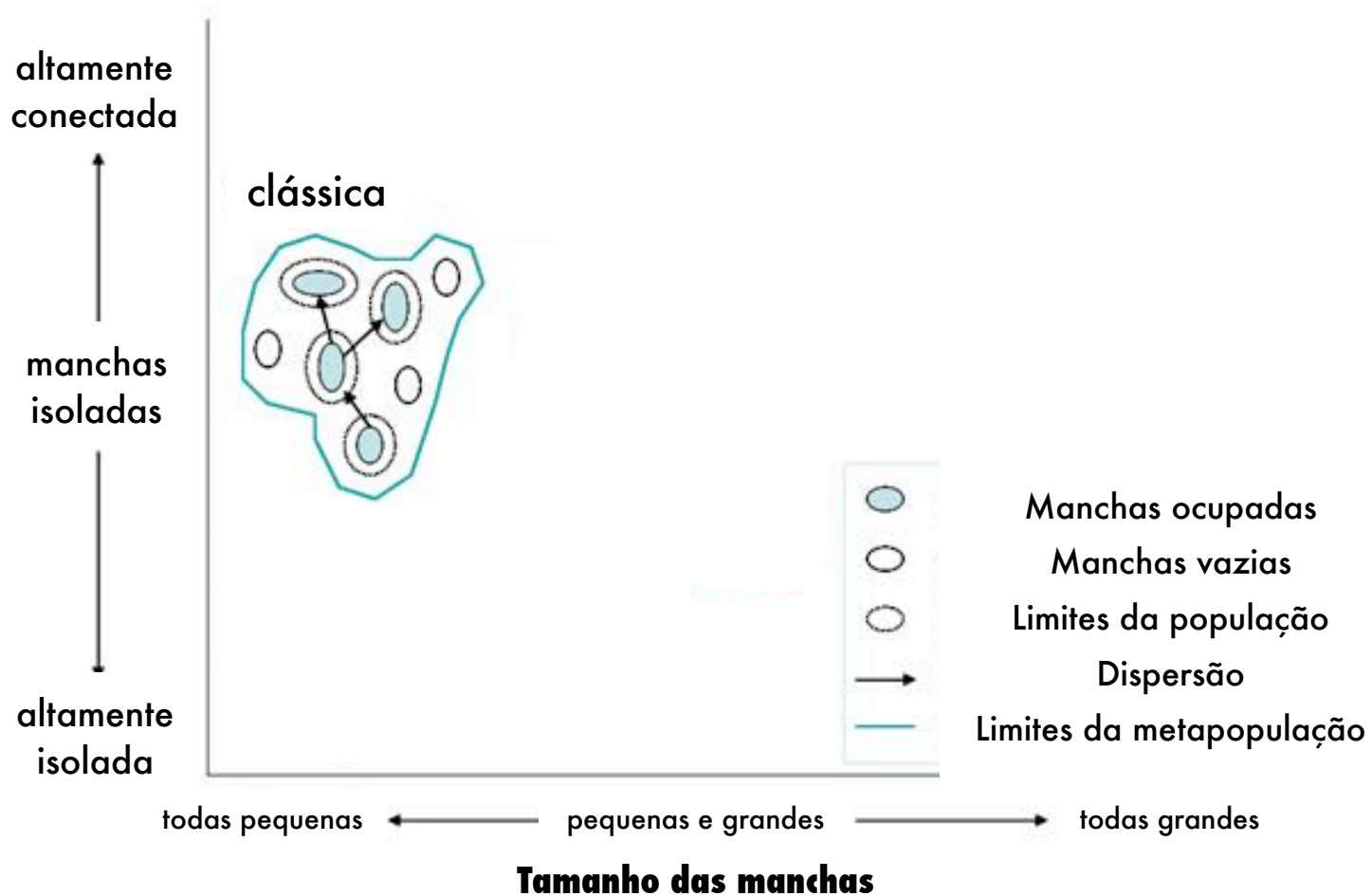
- Tamanho = número de populações locais
- Taxas locais de migração
- Probabilidade de colonização de populações locais
- Probabilidade de extinção de populações locais
- Arranjo espacial
- Estrutura de rede

# Tipos de metapopulação

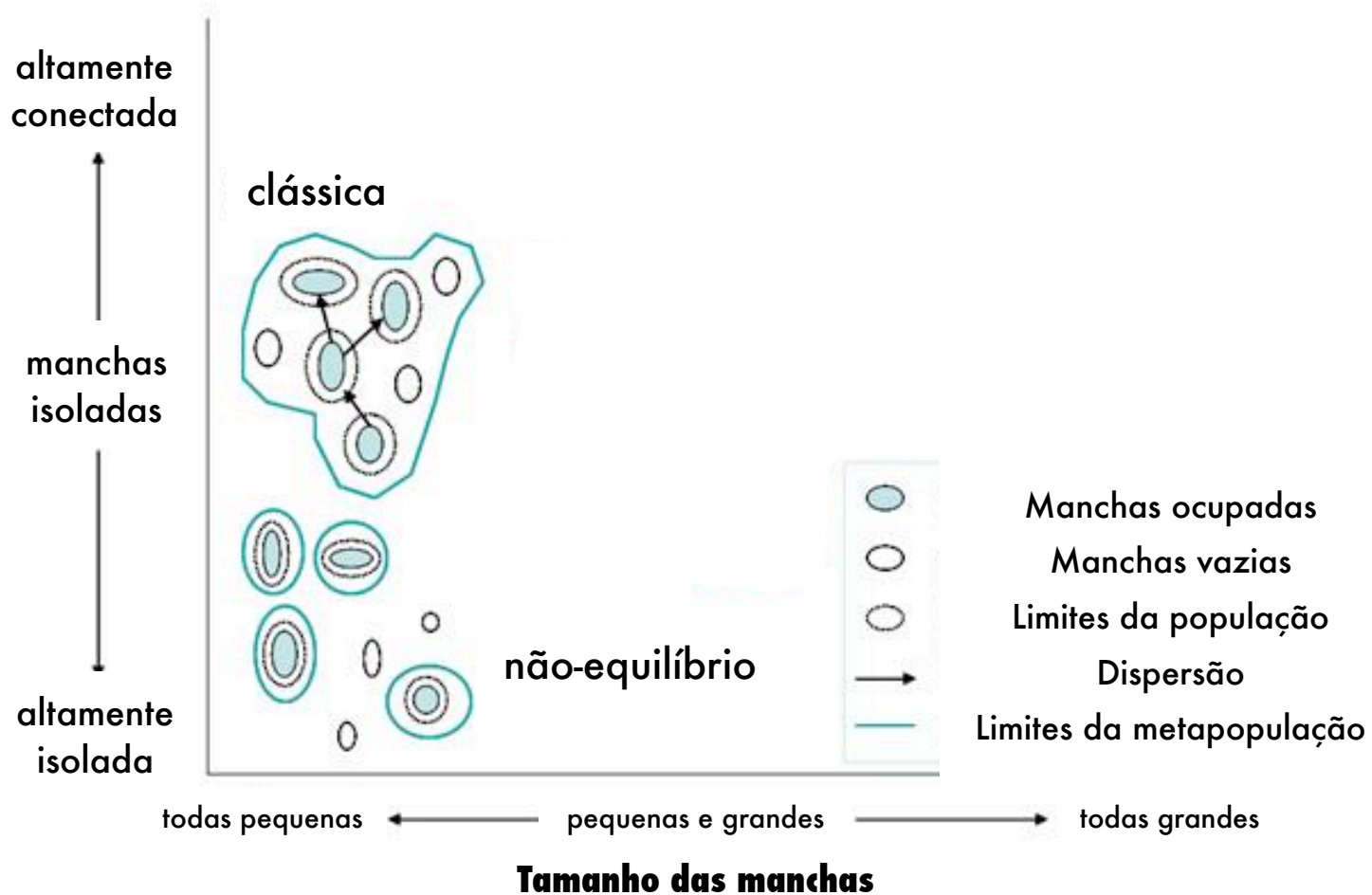




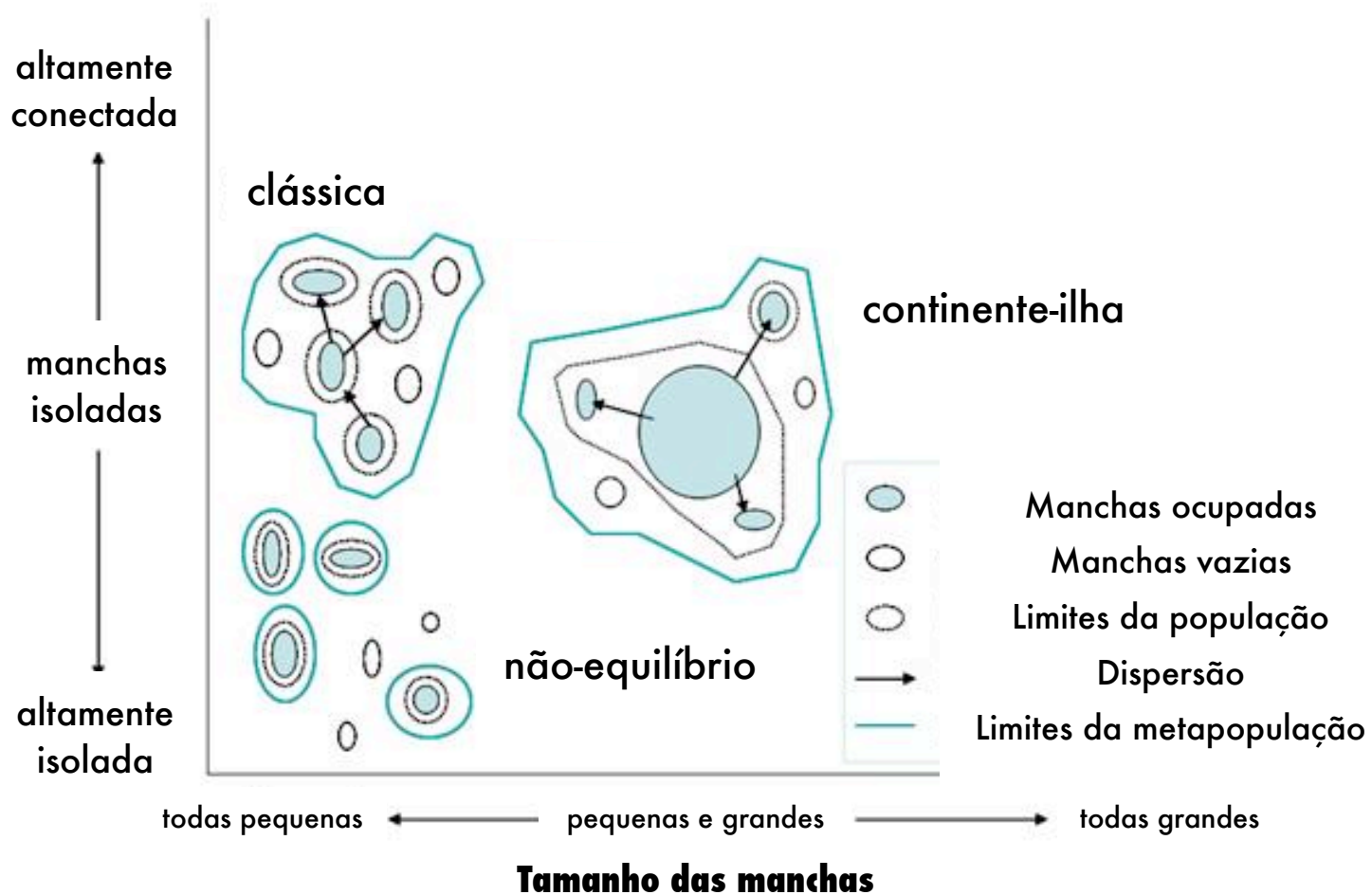
# Tipos de metapopulação



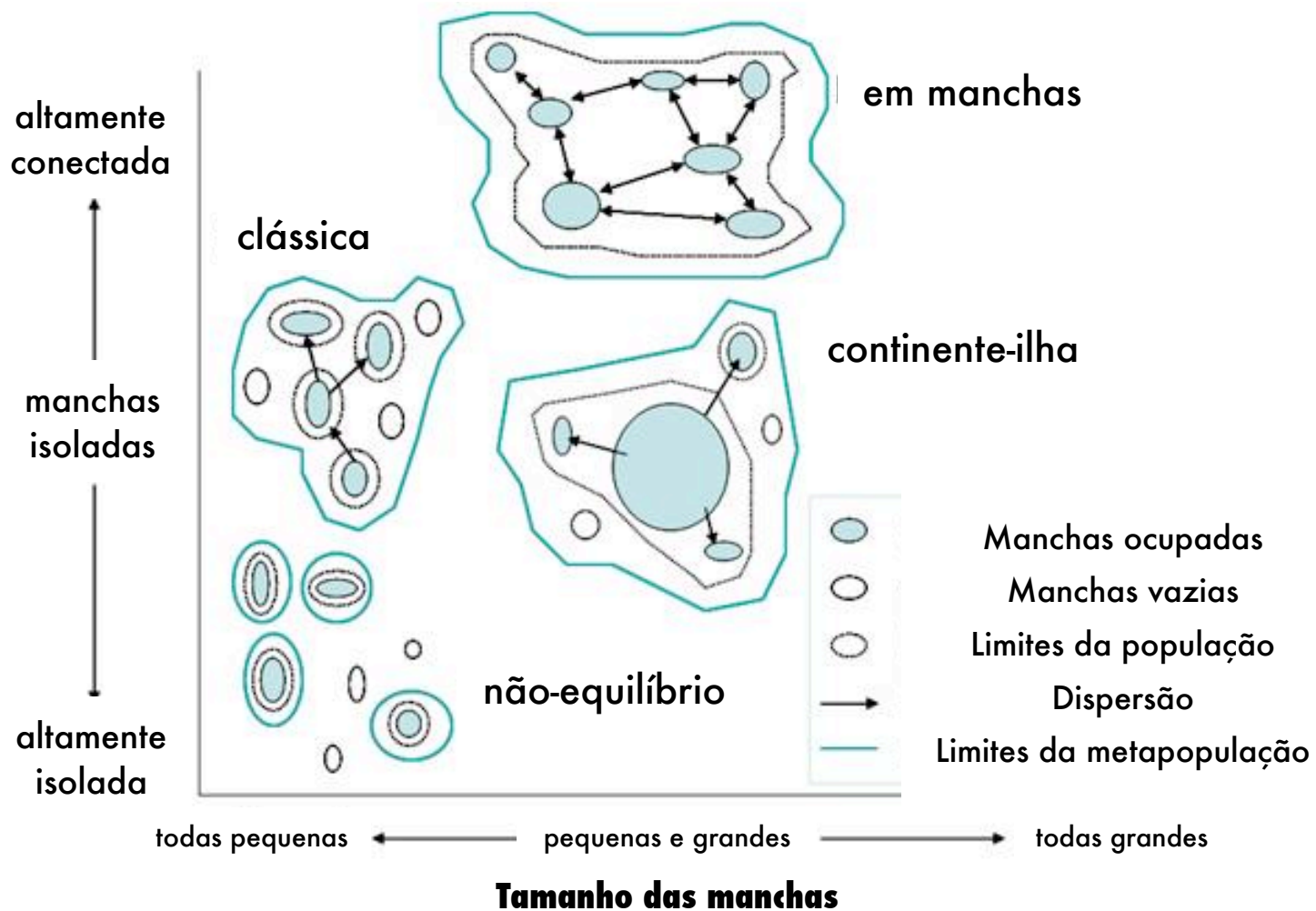
# Tipos de metapopulação



# Tipos de metapopulação



# Tipos de metapopulação





# Propriedades da metapopulação





# Propriedades da metapopulação



número de  
populações locais

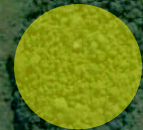
**P<sub>1</sub>**



**P<sub>3</sub>**



**P<sub>4</sub>**



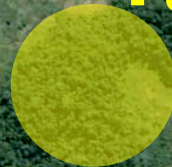
**P<sub>5</sub>**



**P<sub>7</sub>**



**P<sub>6</sub>**

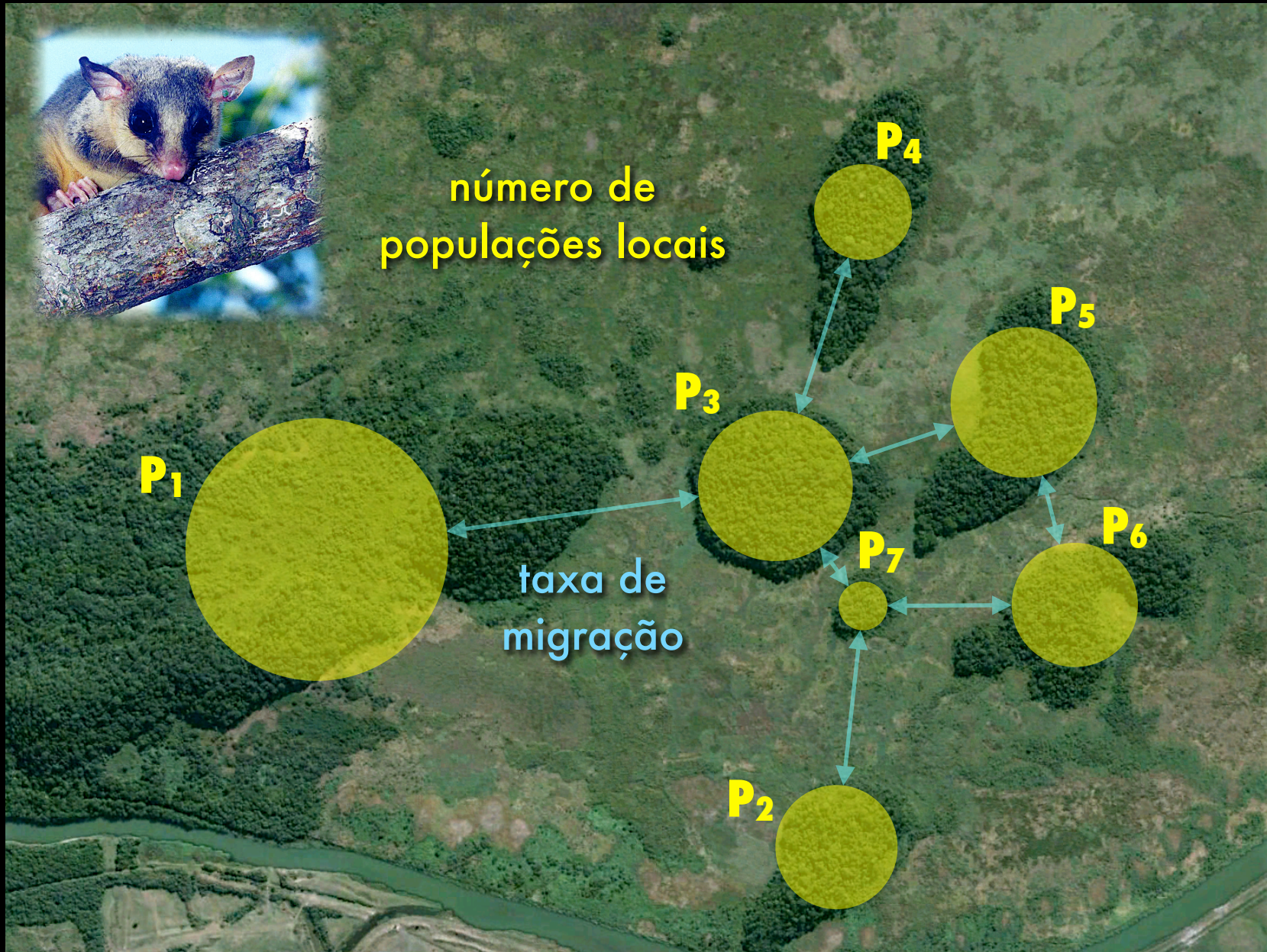


**P<sub>2</sub>**



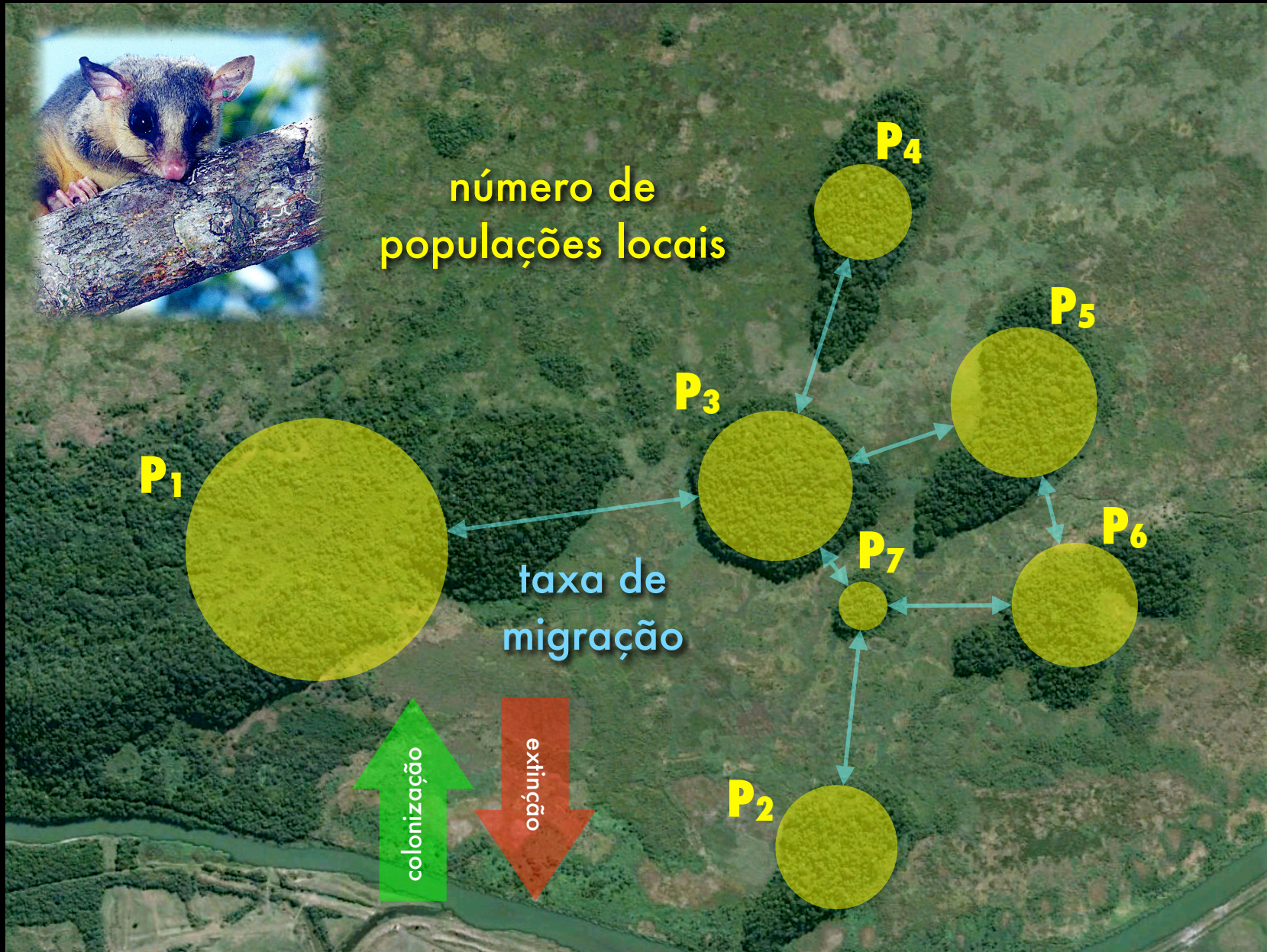


# Propriedades da metapopulação





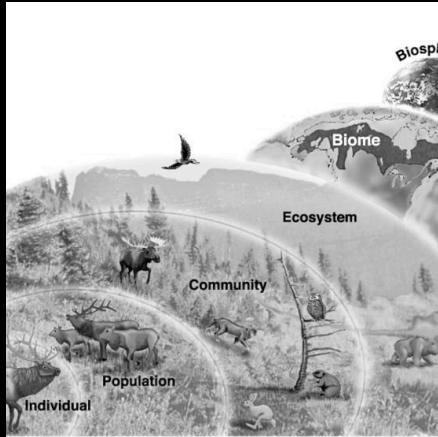
# Propriedades da metapopulação







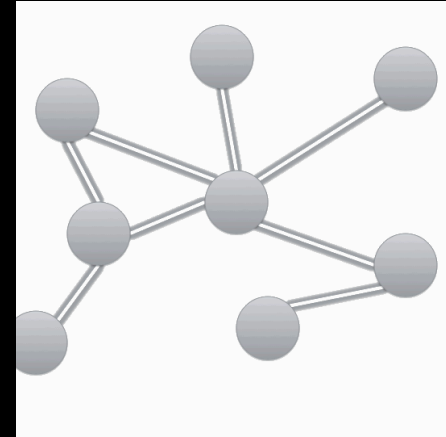
## Complexidade



## Histórico



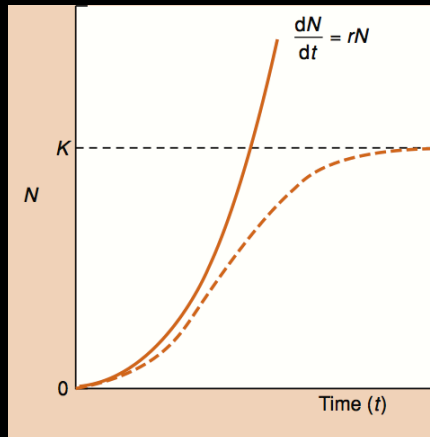
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica



## Aplicações



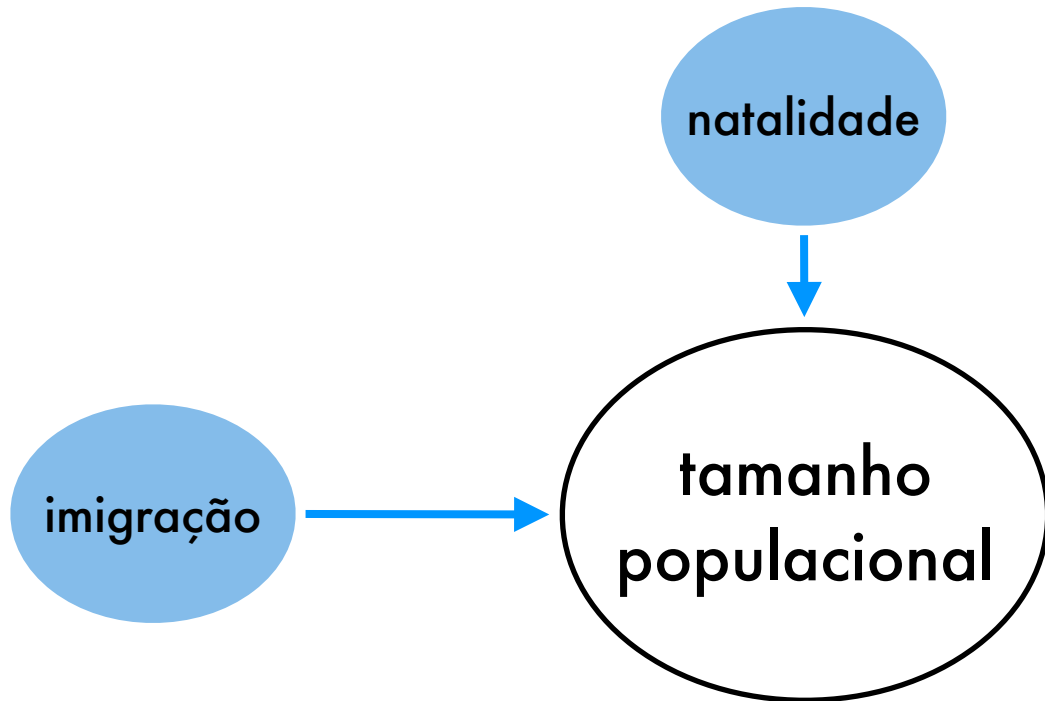
# Populações

# Fatores que determinam as variações no tamanho populacional

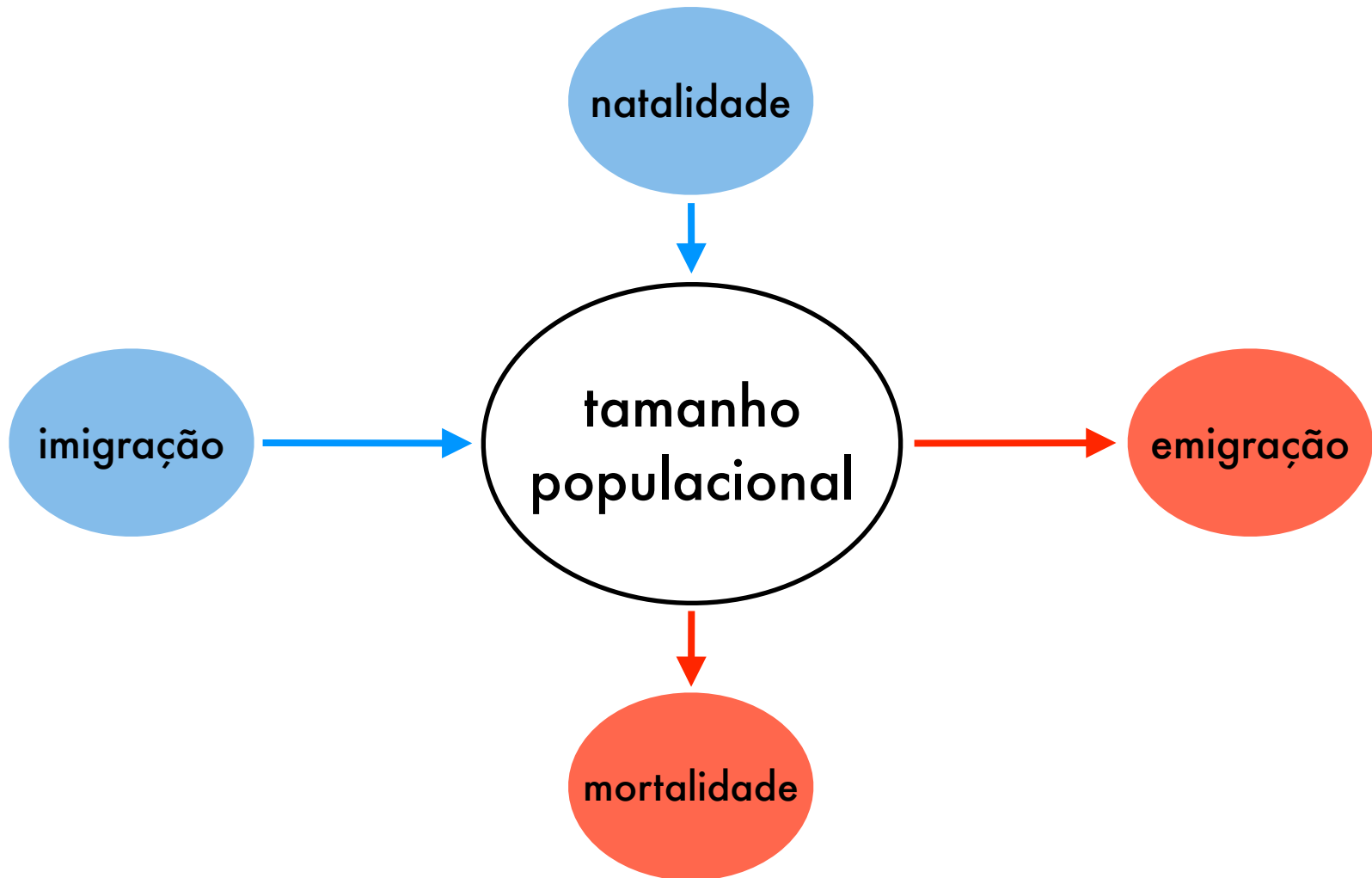




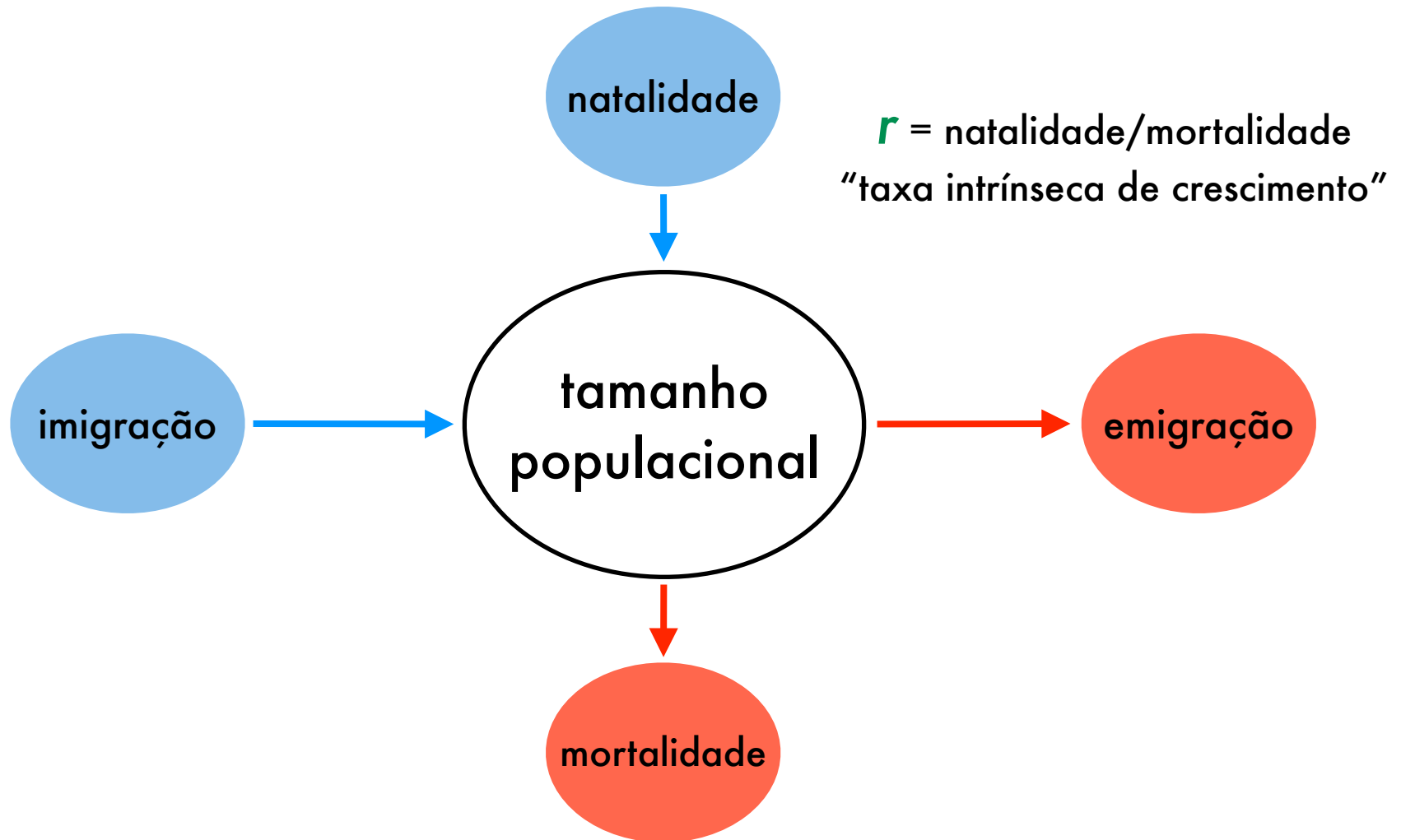
# Fatores que determinam as variações no tamanho populacional



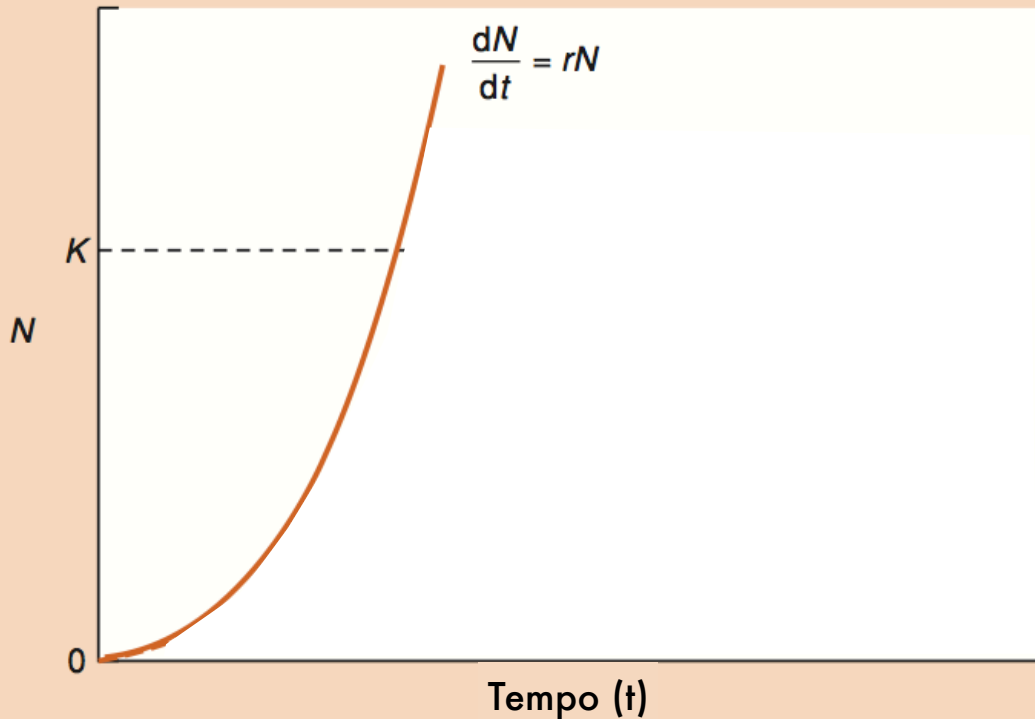
# Fatores que determinam as variações no tamanho populacional



# Fatores que determinam as variações no tamanho populacional



# Crescimento populacional



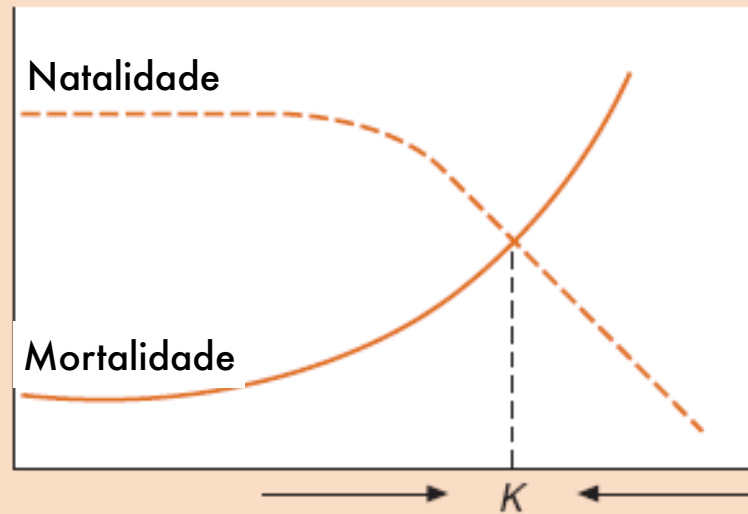
$N$  = tamanho populacional  
 $r$  = taxa intrínseca de crescimento

**Crescimento exponencial** não reflete a realidade: recursos ilimitados, nenhuma competição intraespecífica, mortalidade zero



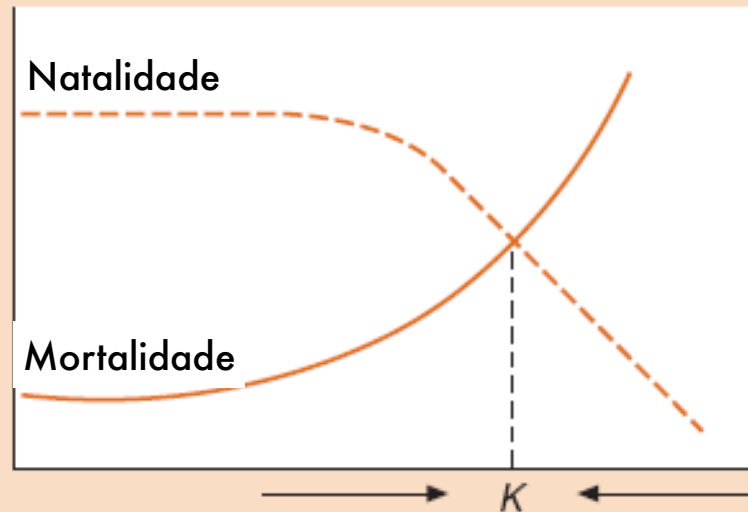
# Capacidade suporte: $K$

Qual é o tamanho máximo que a população pode atingir em um dado local, em um dado momento?



# Capacidade suporte: $K$

Qual é o tamanho máximo que a população pode atingir em um dado local, em um dado momento?



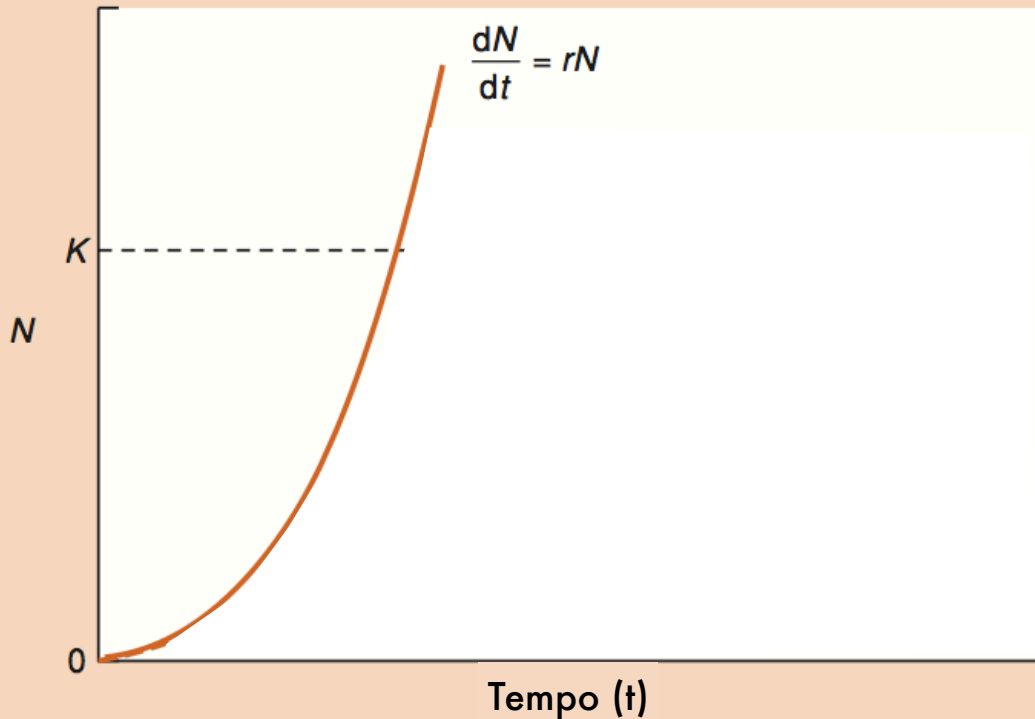
História natural da espécie

Clima, alimento, inimigos naturais, doenças

Varia de acordo com o ambiente

Regulação dependente de densidade

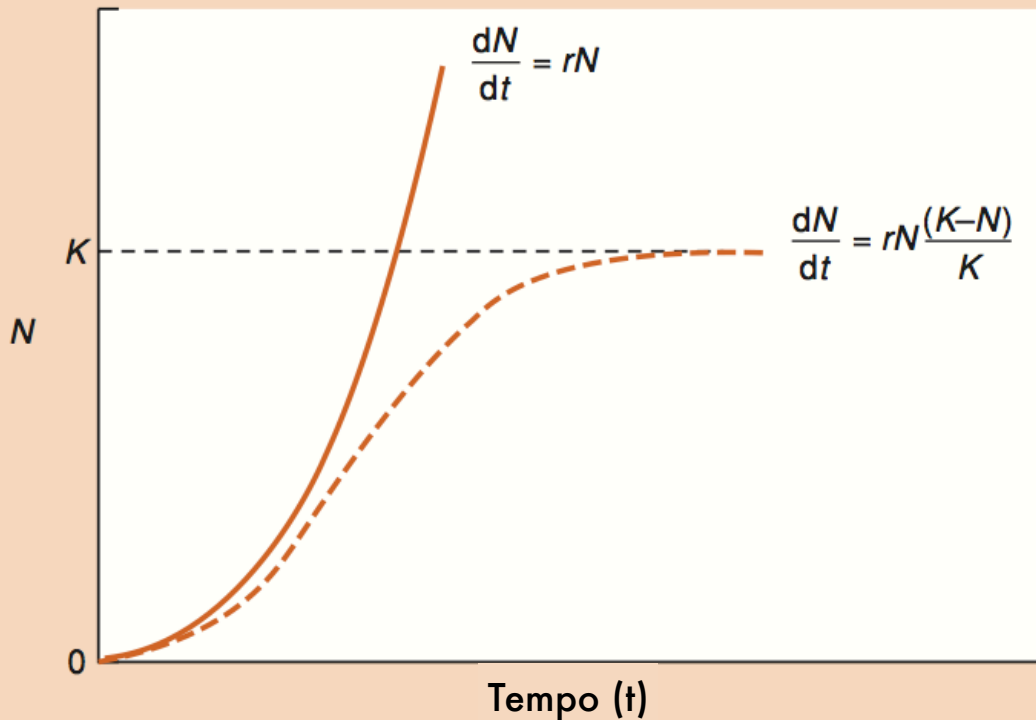
# Crescimento populacional



$N$  = tamanho populacional  
 $r$  = taxa intrínseca de crescimento

**Crescimento exponencial** não reflete a realidade: recursos ilimitados, nenhuma competição intraespecífica, mortalidade zero

# Crescimento populacional



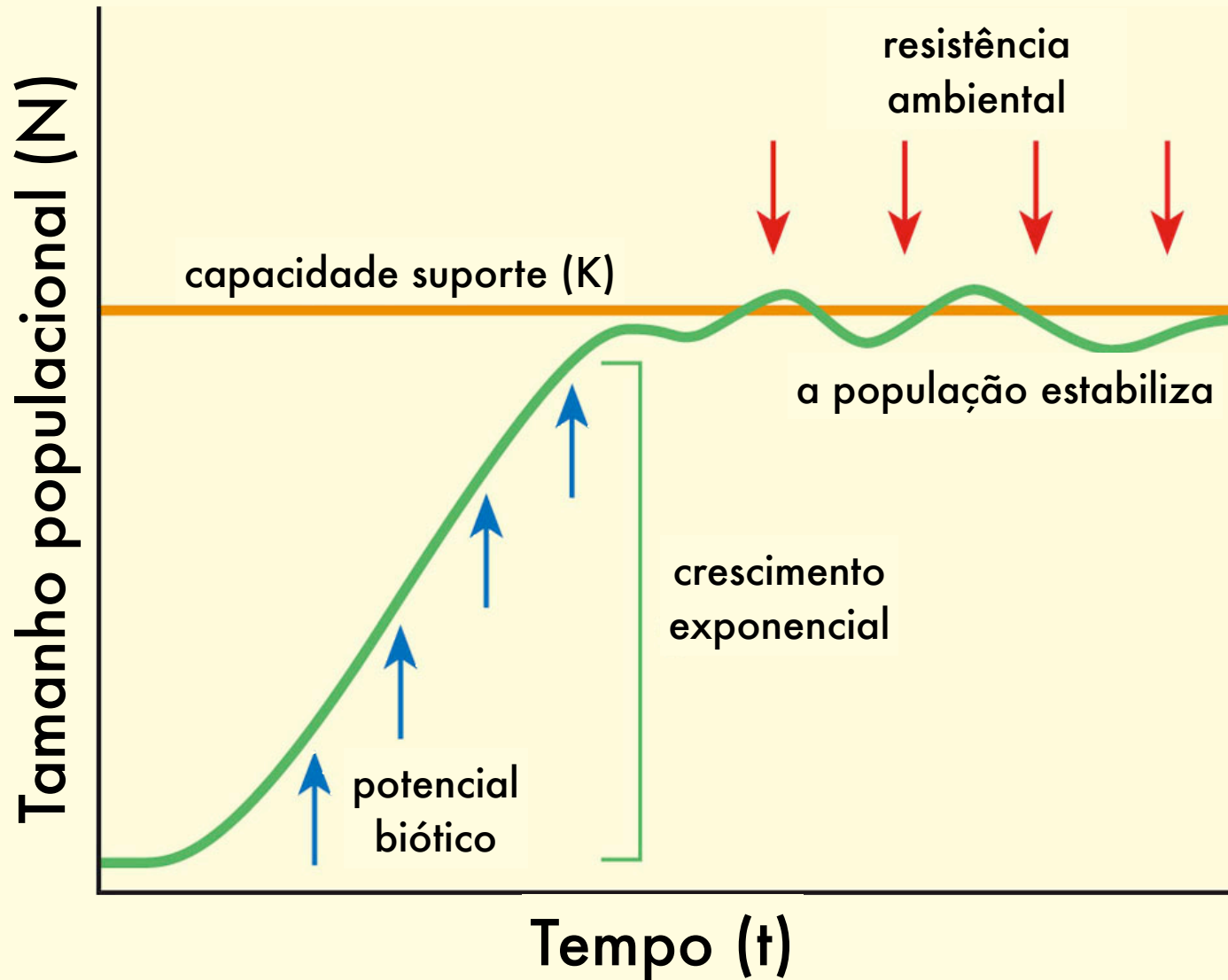
$N$  = tamanho populacional  
 $r$  = taxa intrínseca de crescimento  
 $K$  = capacidade suporte

**Crescimento exponencial** não reflete a realidade: recursos ilimitados, nenhuma competição intraespecífica, mortalidade zero

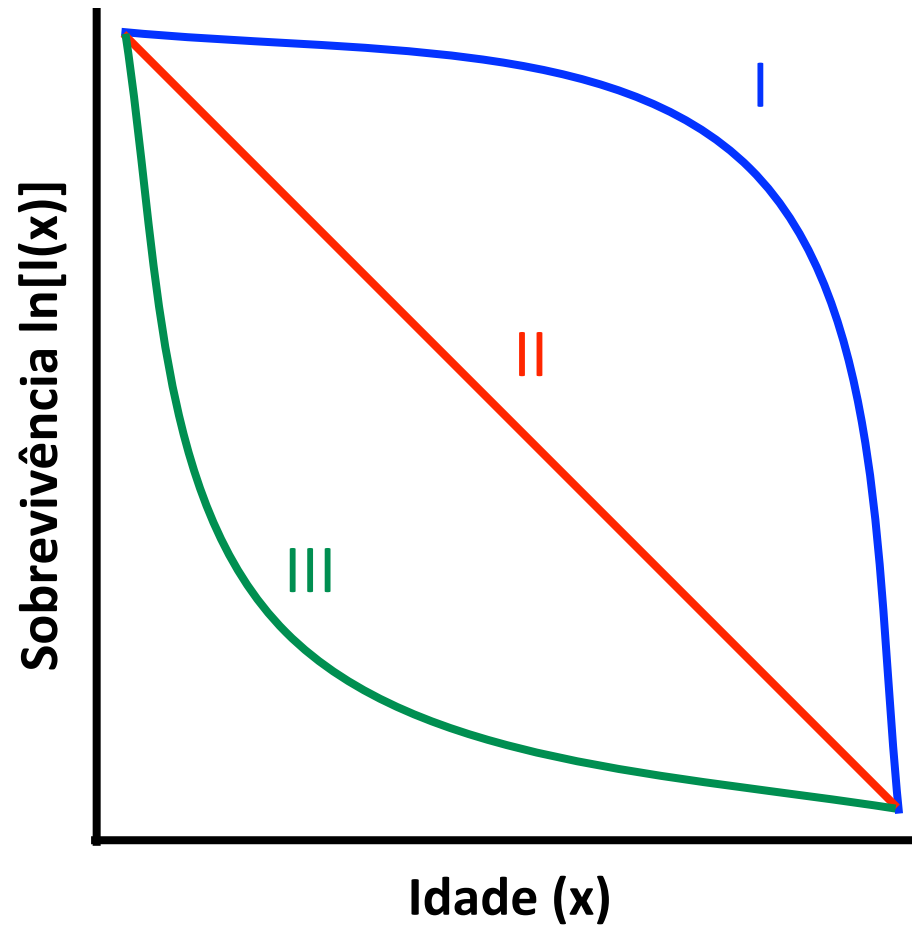
**Crescimento logístico** é mais realista, pois considera fatores limitantes do crescimento e dependentes de densidade



# Crescimento logístico



# Dinâmica estruturada pela idade



# Análise de viabilidade populacional

# Análise de viabilidade populacional

- Qual é chance de uma dada população local se extinguir dentro de um dado intervalo de tempo?



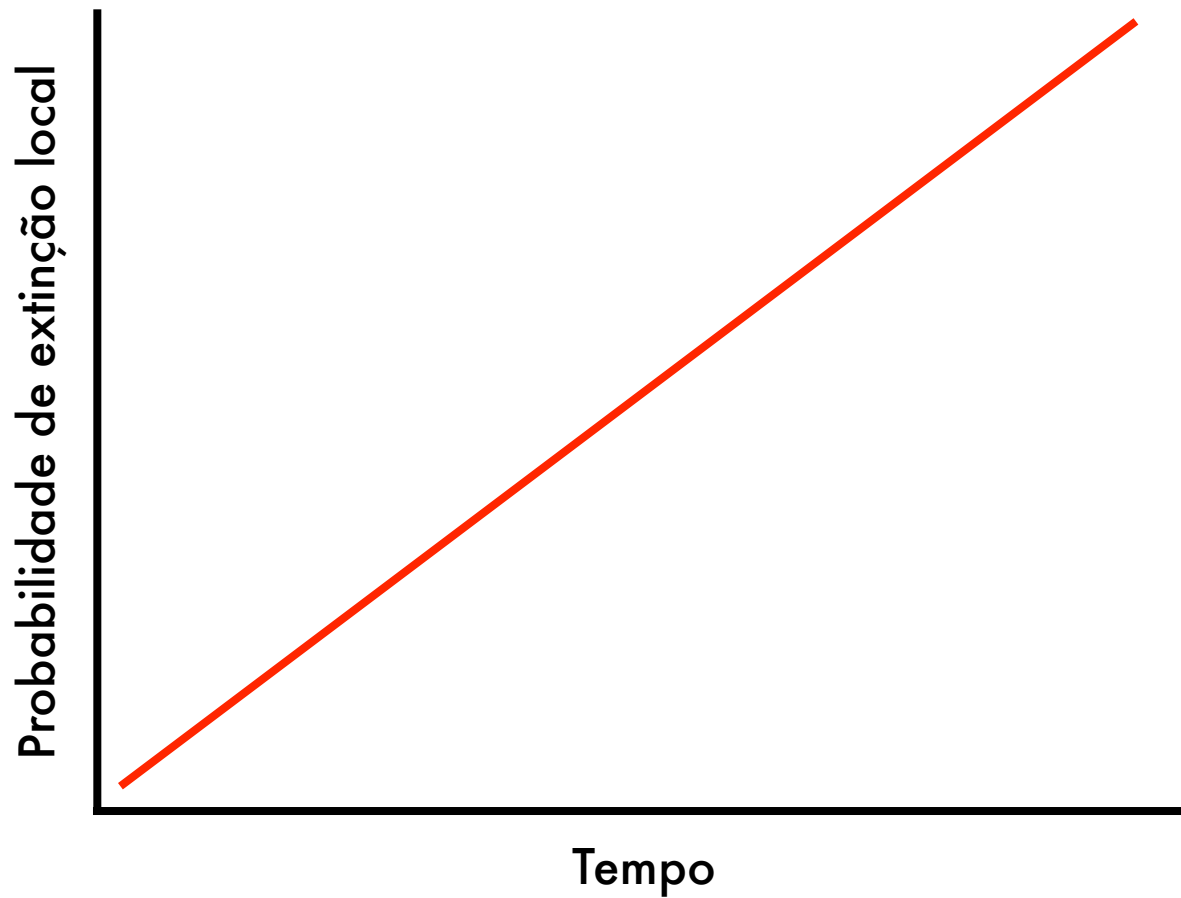
# Análise de viabilidade populacional

- Qual é chance de uma dada população local se extinguir dentro de um dado intervalo de tempo?
- Simulação matemática parametrizada com dados de história natural

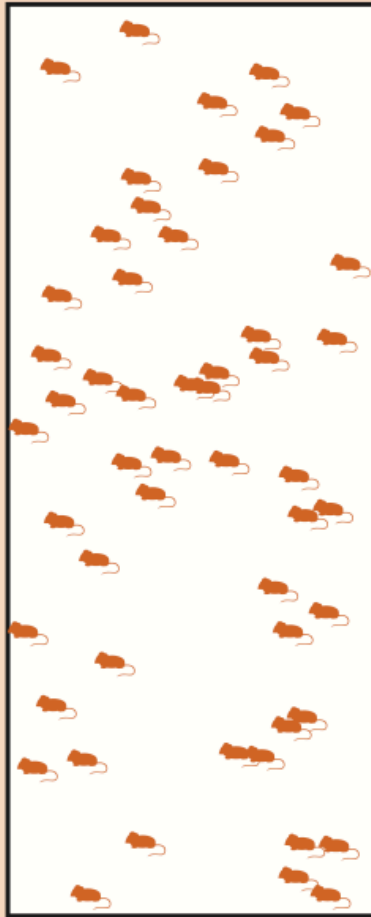
# Análise de viabilidade populacional

- Qual é chance de uma dada população local se extinguir dentro de um dado intervalo de tempo?
- Simulação matemática parametrizada com dados de história natural
- Parâmetros:
  - $N_0$
  - $r$
  - $K$
  - heterozigosidade
  - vários outros...

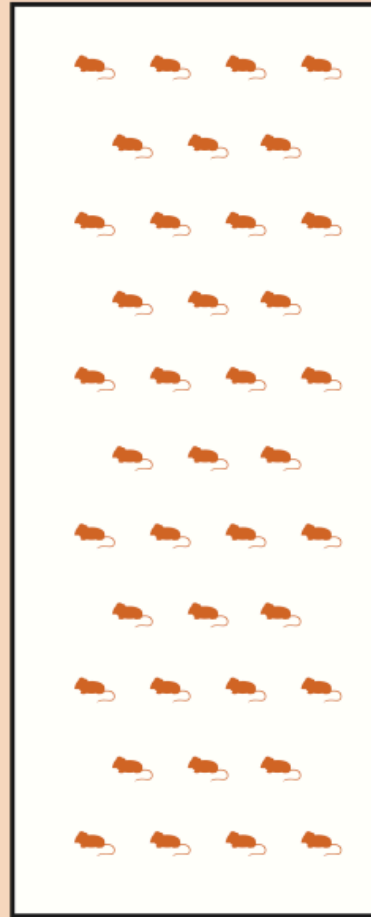
# Análise de viabilidade populacional



# Padrões de distribuição espacial dos indivíduos de uma população



aleatória



uniforme



agregada



# Distribuição espacial: fatores

- Distribuição do alimento/nutrientes
- Distribuição de abrigos/ninhos
- Competição intra- e interespecífica
- Relação custo-benefício dos recursos

# Uso do espaço

- A forma como os indivíduos de uma população local usam o espaço influencia a estrutura da metapopulação

# Metapopulações

# Modelo metapopulacional simples

(Levins 1969)

$$\frac{dP}{dt} = cP(1 - P) - \epsilon P$$



# Modelo metapopulacional simples

(Levins 1969)

$$\frac{dP}{dt} = cP(1 - P) - \epsilon P$$

- $P$  = proporção de manchas de hábitat ocupadas
- $1 - P$  = proporção de manchas de hábitat desocupadas
- $c$  = taxa de colonização de manchas (“natalidade”)
- $\epsilon$  = taxa de extinção de manchas (“mortalidade”)

# Modelo metapopulacional simples

(Levins 1969)

$$\frac{dP}{dt} = cP(1 - P) - \epsilon P$$

- $P$  = proporção de manchas de hábitat ocupadas
- $1 - P$  = proporção de manchas de hábitat desocupadas
- $c$  = taxa de colonização de manchas (“natalidade”)
- $\epsilon$  = taxa de extinção de manchas (“mortalidade”)
- Se  $\epsilon > c$ , a metapopulação não persiste

# Modelo metapopulacional simples

(Levins 1969)

$$\frac{dP}{dt} = cP(1 - P) - \varepsilon P$$

- $P$  = proporção de manchas de hábitat ocupadas
- $1 - P$  = proporção de manchas de hábitat desocupadas
- $c$  = taxa de colonização de manchas (“natalidade”)
- $\varepsilon$  = taxa de extinção de manchas (“mortalidade”)
- Se  $\varepsilon > c$ , a metapopulação não persiste
- Para a metapopulação persistir,  $\varepsilon/c < 1$

# Modelo metapopulacional baseado na equação de crescimento logístico (Hanski 2001)

$$\frac{dP}{dt} = (c - \varepsilon)P \left( 1 - \frac{P}{1 - \varepsilon/c} \right)$$



# Modelo metapopulacional baseado na equação de crescimento logístico (Hanski 2001)

$$\frac{dP}{dt} = (c - \varepsilon)P \left( 1 - \frac{P}{1 - \varepsilon/c} \right)$$

- Capacidade suporte análoga a  $K \Rightarrow P_{eq} = 1 - \varepsilon/c$

# Modelo metapopulacional baseado na equação de crescimento logístico (Hanski 2001)

$$\frac{dP}{dt} = (c - \varepsilon)P \left( 1 - \frac{P}{1 - \varepsilon/c} \right)$$

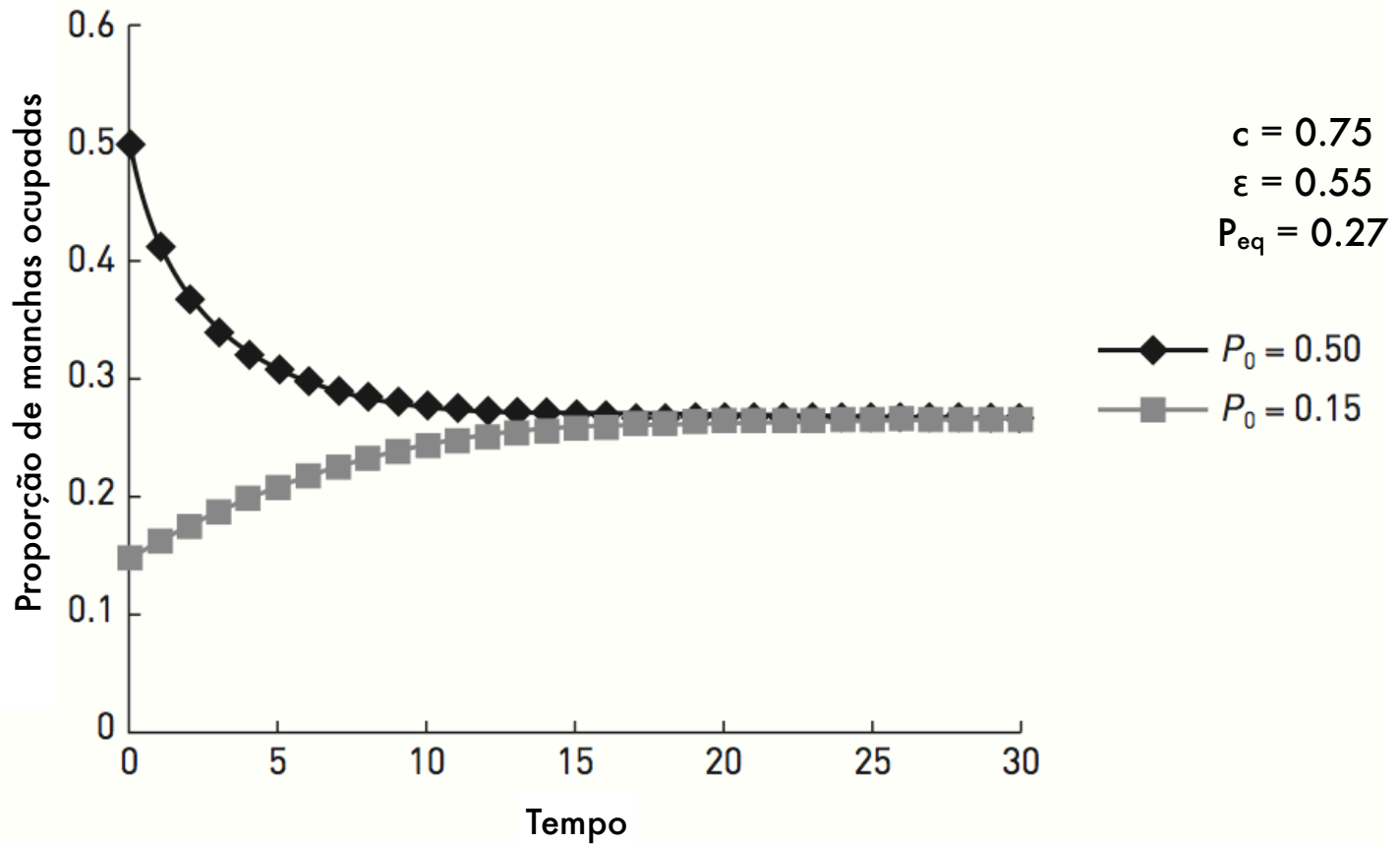
- Capacidade suporte análoga a  $K \Rightarrow P_{eq} = 1 - \varepsilon/c$
- Natalidade e mortalidade de populações locais

# Modelo metapopulacional baseado na equação de crescimento logístico (Hanski 2001)

$$\frac{dP}{dt} = (c - \varepsilon)P \left( 1 - \frac{P}{1 - \varepsilon/c} \right)$$

- Capacidade suporte análoga a  $K \Rightarrow P_{eq} = 1 - \varepsilon/c$
- Natalidade e mortalidade de populações locais
- Presume-se que todas as populações locais se comportem de maneira igual

# Dinâmica metapopulacional

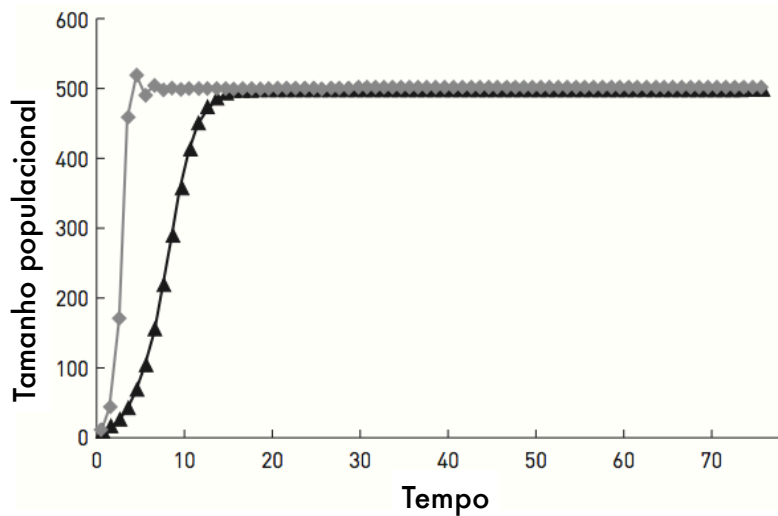


# Caos

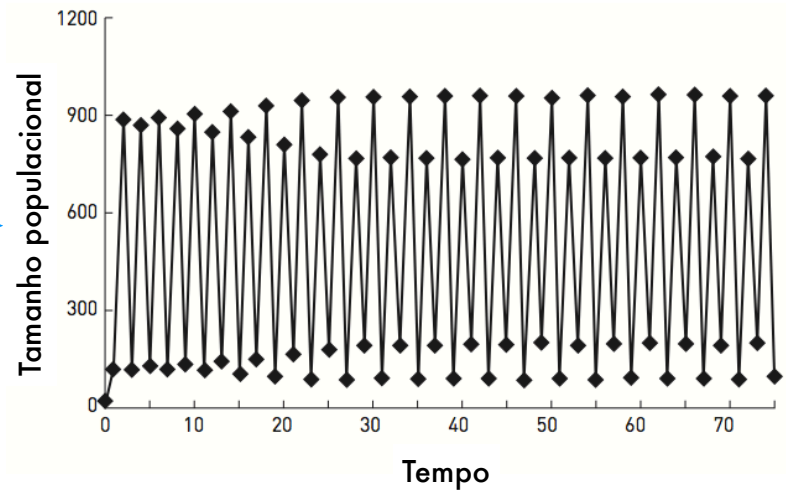
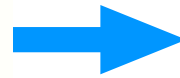


# Dinâmica caótica

Pequenas variações em  $r$  podem  
levar a uma dinâmica com  
comportamento caótico

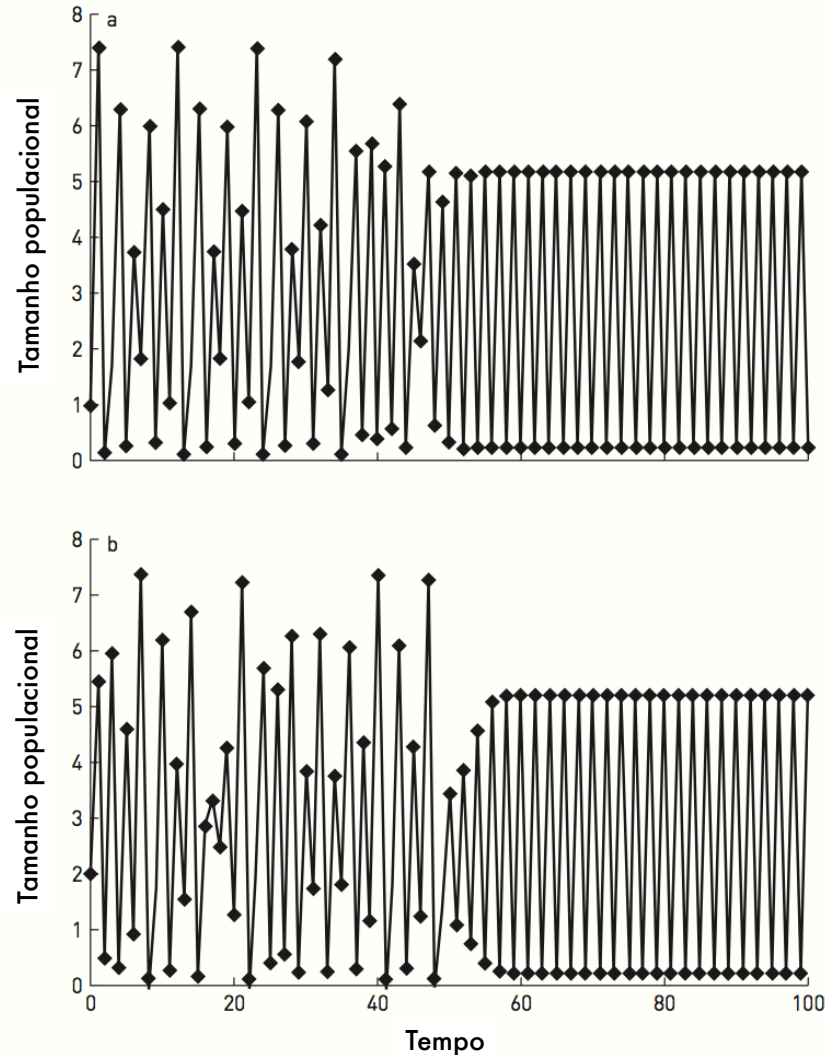


$$r_1 = 0.5$$
$$r_2 = 1.5$$

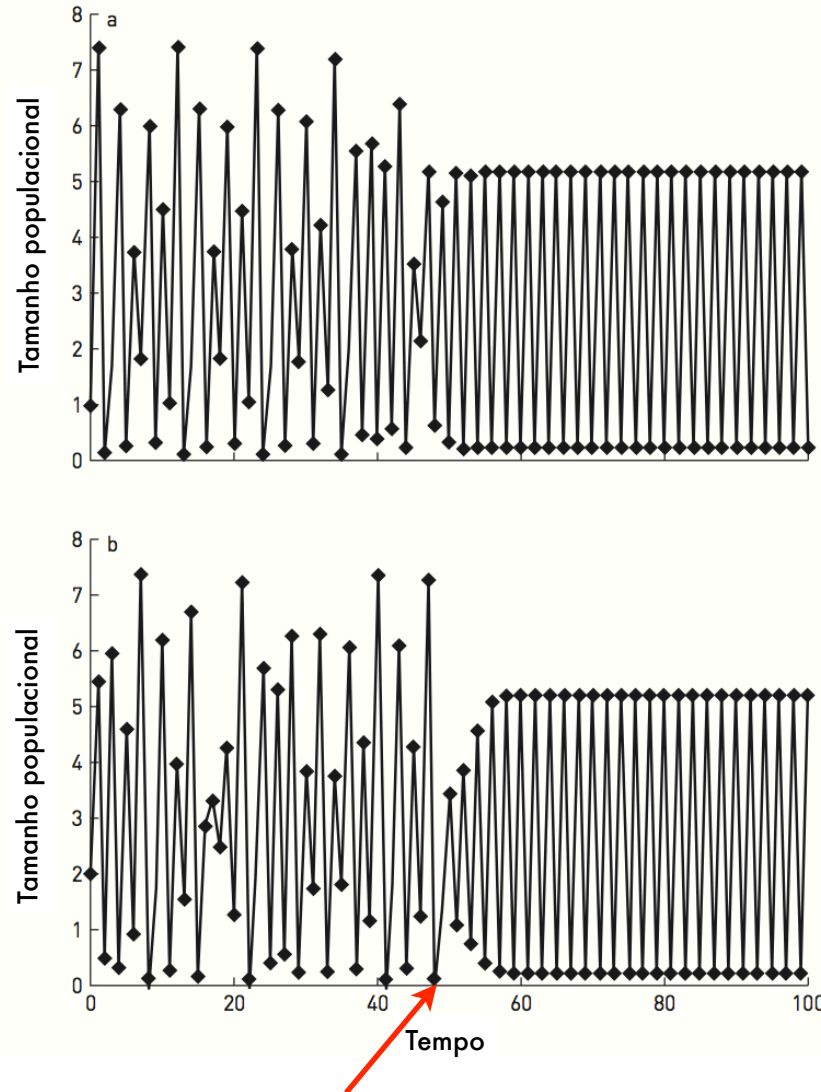


$$r_3 = 2.2$$

# Uma estrutura de metapopulação pode acalmar as dinâmicas caóticas das populações locais



# Uma estrutura de metapopulação pode acalmar as dinâmicas caóticas das populações locais



As populações se **conectam** em  $T = 49$  com  $m = 0.3$

# Outra vantagem da estrutura de metapopulação

# Outra vantagem da estrutura de metapopulação

- Uma estrutura de metapopulação permite o **fluxo gênico** entre populações locais, evitando a depressão por endocruzamento



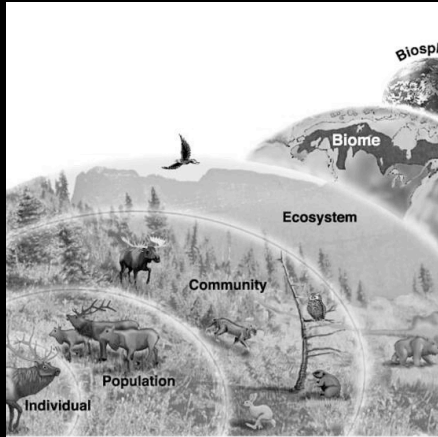
# Outra vantagem da estrutura de metapopulação

- Uma estrutura de metapopulação permite o **fluxo gênico** entre populações locais, evitando a depressão por endocruzamento
- Isso é fundamental em espécies com populações ameaçadas

# Outra vantagem da estrutura de metapopulação

- Uma estrutura de metapopulação permite o **fluxo gênico** entre populações locais, evitando a depressão por endocruzamento
- Isso é fundamental em espécies com populações ameaçadas
- Corredores ecológicos são estabelecidos para criar metapopulações

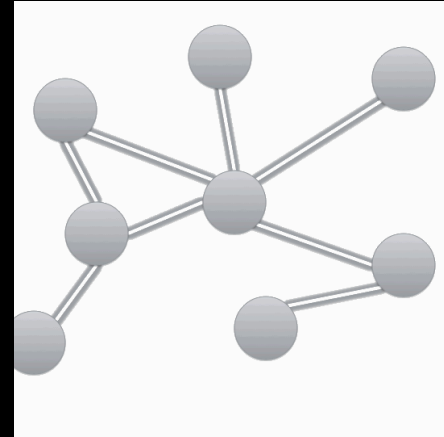
## Complexidade



## Histórico



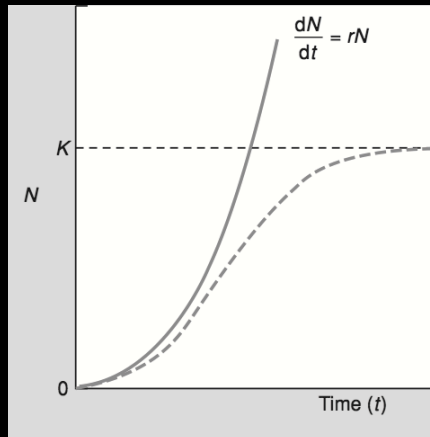
## Sistemas



## Estrutura



## Dinâmica



## Aplicações



# Populações: $r$ e $K$



# Populações: $r$ e $K$

- Planejamento do uso de recursos pesqueiros de acordo com a capacidade de recuperação dos estoques





# Populações: $r$ e $K$

- Planejamento do uso de recursos pesqueiros de acordo com a capacidade de recuperação dos estoques
- Controle populacional humano



# Populações: AVP



# Populações: AVP

- Estimativa da probabilidade de persistência de uma população em um dado intervalo de tempo





# Populações: AVP

- Estimativa da probabilidade de persistência de uma população em um dado intervalo de tempo
- Recuperação de populações ameaçadas



# Populações: AVP

- Estimativa da probabilidade de persistência de uma população em um dado intervalo de tempo
- Recuperação de populações ameaçadas
- Exemplo: mico-leão dourado





# Metapopulações:

desenho de reservas



# Metapopulações:

## desenho de reservas

- Dilema SLOSS: “single large or several small?”



# Metapopulações:

## desenho de reservas

- Dilema SLOSS: “single large or several small?”
- Planejamento do arranjo espacial de fragmentos de hábitat



# Metapopulações:

## desenho de reservas

- Dilema SLOSS: “single large or several small?”
- Planejamento do arranjo espacial de fragmentos de hábitat
- Planejamento de corredores ecológicos





# Metapopulações:

dinâmica de epidemias





# Metapopulações:

## dinâmica de epidemias

- Doenças emergentes: ameaça à biodiversidade, à segurança alimentar e aos humanos



# Metapopulações:

## dinâmica de epidemias

- Doenças emergentes: ameaça à biodiversidade, à segurança alimentar e aos humanos
- Probabilidade de contágio como uma função da estrutura metapopulacional





# Moral da história

# Mensagens principais

# Mensagens principais

- Há diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie, agrupados sob os conceitos de população e metapopulação



# Mensagens principais

- Há diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie, agrupados sob os conceitos de população e metapopulação
- Uma população é um conjunto de organismos da mesma espécie, que cruzam entre si e habitam um mesmo local ao mesmo tempo

# Mensagens principais

- Há diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie, agrupados sob os conceitos de população e metapopulação
- Uma população é um conjunto de organismos da mesma espécie, que cruzam entre si e habitam um mesmo local ao mesmo tempo
- Uma metapopulação é um conjunto de populações locais interligadas por indivíduos migrantes

# Mensagens principais

- Há diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie, agrupados sob os conceitos de população e metapopulação
- Uma população é um conjunto de organismos da mesma espécie, que cruzam entre si e habitam um mesmo local ao mesmo tempo
- Uma metapopulação é um conjunto de populações locais interligadas por indivíduos migrantes
- Populações e metapopulações têm propriedades emergentes

# Mensagens principais

- Há diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie, agrupados sob os conceitos de população e metapopulação
- Uma população é um conjunto de organismos da mesma espécie, que cruzam entre si e habitam um mesmo local ao mesmo tempo
- Uma metapopulação é um conjunto de populações locais interligadas por indivíduos migrantes
- Populações e metapopulações têm propriedades emergentes
- Populações e metapopulações variam no tempo em função de fatores intrínsecos, interações ecológicas e fatores ambientais

# Mensagens principais

- Há diferentes tipos de sistemas locais formados por organismos da mesma espécie, agrupados sob os conceitos de população e metapopulação
- Uma população é um conjunto de organismos da mesma espécie, que cruzam entre si e habitam um mesmo local ao mesmo tempo
- Uma metapopulação é um conjunto de populações locais interligadas por indivíduos migrantes
- Populações e metapopulações têm propriedades emergentes
- Populações e metapopulações variam no tempo em função de fatores intrínsecos, interações ecológicas e fatores ambientais
- As teorias relacionadas a essas duas entidades ecológicas são aplicadas ao manejo de recursos naturais, conservação e restauração





# Sugestões de leitura

# Sugestões de leitura

- **Livros**

- Begon et al. 1996. Population ecology: a unified study of animals and plants. Willey-Blackwell, New York.
- Gotelli NJ. 2001. A primer of ecology. Sinauer Associates, Sunderland.
- Hanski I. 1999. Metapopulation ecology. Oxford University Press, Oxford.
- Malthus TR. 1798. An essay on the principle of population. Reprint by Electronic Scholarly Publishing Project, London.

- **Artigos**

- Fernandez FAS. 2011. Nunca é por causa da demografia. O Eco, online.
- Levins R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bulletin of the Entomological Society of America 15: 237–240.
- Urban DL, Minor ES, Trembl EA, Schick RS. 2009. Graph models of habitat mosaics. Ecology Letters 12:260-273.